

Université de Montréal

Difficultés reliées à la résolution de problèmes de physique
chez des élèves de cinquième année du secondaire

par

Yvon G. Lapointe

Section d'enseignement secondaire et collégial
Faculté des sciences de l'éducation

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiae Doctor (Ph.D.)
en enseignement secondaire et collégial

(Mai, 1988)

© Yvon G. Lapointe, 1988



LB

5

U59.

1989

V.003

ef.1

"J'ai été souvent frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas qu'on ne comprenne pas. Peu nombreux sont ceux qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion."

Gaston Bachelard, La formation de l'esprit scientifique, p. 18

Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

"Difficultés reliées à la résolution de problèmes
de physique chez des élèves de cinquième année du secondaire"

présentée par:

Yvon G. Lapointe

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Jacques Bergeron prés.-rapp
Louis St.-Clair p. dir. recherche
Hélène Lemoyne membre jury
Genevieve Desjardins ex-externes

Thèse acceptée le:

SOMMAIRE

L'observation des comportements d'élèves de cinquième année du secondaire, inscrits à des cours de physique, montre que devant des problèmes à résoudre beaucoup de ces élèves, même s'ils ont acquis toutes les connaissances nécessaires pour résoudre les problèmes, éprouvent des difficultés majeures quand vient l'application de ces connaissances. De plus, les faibles pourcentages de réussite dans les différents examens régionaux ou provinciaux dans cette matière confirment cet état de fait.

La présente étude vise à décrire et à analyser les processus de résolution de problèmes de physique employés par des élèves de cinquième année du secondaire pour parvenir à identifier les difficultés les plus fréquemment rencontrées dans cette activité intellectuelle.

A cette fin, un modèle synthèse de résolution de problèmes de physique est élaboré à partir de différents modèles suggérés par les recherches en intelligence artificielle et en simulation par ordinateur sur la résolution de problèmes de physique. Une grille d'analyse du comportement construite à partir de ce modèle synthèse permet l'identification des étapes utilisées par l'élève pour résoudre les problèmes. Cette grille comporte une série de

neuf étapes, chacune d'elles étant reliée soit à la lecture du problème, à sa compréhension ou à sa solution.

Huit élèves en physique, au niveau de cinquième secondaire, répartis en forts, moyens et faibles sont invités à résoudre cinq problèmes de cinématique en formulant à haute voix les raisonnements qui les conduisent à la solution du problème. Leurs verbalisations sont transcrites sous forme de protocole et analysées à l'aide de la grille développée pour cette étude. Les cheminements des élèves sont étudiés à l'aide de diagrammes qui facilitent le repère des difficultés pour résoudre les différents problèmes et permettent la comparaison entre les élèves.

Les comparaisons des protocoles des élèves selon la catégorie à laquelle ils appartiennent ou selon qu'ils ont réussi ou échoué les problèmes font ressortir que, même dans la solution de problèmes de cinématique ayant un contenu notionnel restreint, aucun de ces élèves n'a pu résoudre correctement les cinq problèmes proposés. Ce qui différencie les trois catégories d'élèves, c'est d'abord la valeur du contenu de leur représentation du problème. Chez les élèves "forts", cette représentation contient beaucoup plus d'informations pertinentes que chez les autres catégories d'élèves. C'est à partir du contenu de cette représentation "enrichie" que les élèves "forts" arrivent à faire une sélection plus judicieuse des opérateurs et une utilisation plus efficace de ceux-ci. Seul un élève classé "moyen" a réussi

à solutionner trois des cinq problèmes. Par contre, un élève "fort" n'a réussi qu'un seul problème.

Les comparaisons mettent aussi en évidence que, dans les problèmes à contexte multiple, où il y a plusieurs objets qui se déplacent, la différence entre le succès et l'échec s'explique par la façon dont les élèves conçoivent la situation décrite dans le problème. Les élèves qui ont réussi à résoudre ce genre de problèmes ont utilisé une représentation littérale du déroulement de la situation ou un dessin pour identifier des caractéristiques communes au mouvement de chaque objet. Les élèves qui ont échoué n'ont pas été en mesure de faire ce cheminement, de sorte que même s'ils ont sélectionné de bons opérateurs sur la base de certains mots clefs contenus dans le texte du problème, l'application de ceux-ci demeurent inexacte, puisqu'ils opèrent sur une situation différente de celle décrite dans la donnée au problème. Dans les deux problèmes à contexte unique, les causes des échecs sont multiples. Dans un des problèmes, l'emploi d'unités de grandeurs différentes pour décrire une même variable est la cause principale des échecs dans la solution de ce problème. Dans l'autre problème, la difficulté de décrire le comportement de l'objet à partir des connaissances apprises au cours de physique est à l'origine des échecs dans la solution de ce problème.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DU JURY.....	iii
SOMMAIRE	iv
TABLE DES MATIERES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xiv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
Les fondements théoriques de l'étude.....	7
1.1 Différentes théories de la résolution de problèmes.	8
1.1.1 La théorie de Gestalt.....	9
1.1.2 La théorie behavioriste.....	9
1.1.3 La théorie du traitement de l'information...	11
1.2 Modèles de résolution de problèmes explicables par la théorie du traitement de l'information.....	19
1.2.1 Modèles illustrant la construction de la représentation du problème.....	20
1.2.2 Modèles de stratégies de sélection des opérateurs.....	40
1.3 Un modèle synthèse de cheminement pour la solution de problèmes de physique.....	43
1.4 Résumé du chapitre.....	49
CHAPITRE II	
La méthodologie.....	51
2.1 La méthode d'investigation.....	52
2.2 Le choix du domaine des problèmes à résoudre.....	56
2.3. La sélection des problèmes pour l'expérimentation..	58
2.4 L'échantillon.....	66
2.5 Le déroulement de l'expérience.....	69
2.6 Résumé du chapitre.....	70

CHAPITRE III	
Cueillette et analyse des données.....	72
3.1 Transcription et numérotation des protocoles.....	73
3.2 Grille d'analyse des processus de solution des problèmes.....	75
3.3 Diagramme des étapes de solution.....	78
3.4 Utilisation des protocoles pour remplir la grille...	79
3.5 Analyse du comportement de chaque élève pour les cinq problèmes à l'aide de la grille et du diagramme.....	83
3.5.1 Analyse du comportement de l'élève 501-1.....	83
3.5.2 Analyse du comportement de l'élève 502-5.....	96
3.5.3 Analyse du comportement de l'élève 503-4.....	106
3.5.4 Analyse du comportement de l'élève 504-3.....	117
3.5.5 Analyse du comportement de l'élève 601-5.....	126
3.5.6 Analyse du comportement de l'élève 602-1.....	134
3.5.7 Analyse du comportement de l'élève 603-5.....	142
3.5.8 Analyse du comportement de l'élève 604-1.....	150
3.6 Résumé du chapitre.....	158
CHAPITRE IV	
Les résultats.....	159
4.1 Analyse comparée des cheminements des élèves selon qu'ils ont réussi ou échoué chacun des problèmes....	160
4.1.1 Les succès et échecs au problème C ₁	161
4.1.2 Les succès et échecs au problème C ₂	165
4.1.3 Les succès et échecs au problème C ₃	169
4.1.4 Les succès et échecs au problème C ₄	173
4.1.5 Les succès et échecs au problème C ₆	176
4.2 Analyse comparée des cheminements suivis par les différentes catégories d'élèves pour l'ensemble des cinq problèmes.....	182
4.3 Comparaison générale des solutions réussies et échouées.....	191
4.4 Résumé du chapitre.....	193
CHAPITRE V	
Conclusion.....	197

BIBLIOGRAPHIE..... xvi

APPENDICE A - Les problèmes proposés initialement.....xxiii

APPENDICE B - Texte lu par l'observateur à l'élève..... xxix

APPENDICE C - Protocoles des élèves pour les cinq
problèmes.....xxxii

REMERCIEMENTS.....xcviii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I - Evaluation des problèmes par les juges.....	61
Tableau II - Répartition des élèves par enseignants et par catégories.....	68
Tableau III - Liste des étapes et sous-étapes du modèle et leurs symboles.....	76
Tableau IV - Liste des opérateurs et de leur symbole....	77
Tableau V - Comparaison entre le contenu de la grille d'analyse du juge et notre grille pour la solution du problème C ₄ par l'élève 504-3.....	81
Tableau VI.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	84
Tableau VI.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	86
Tableau VI.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	89
Tableau VI.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	91
Tableau VI.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	93
Tableau VII.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	97
Tableau VII.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	98
Tableau VII.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	100
Tableau VII.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	102
Tableau VII.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	103
Tableau VIII.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	107
Tableau VIII.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	109

Tableau VIII.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	111
Tableau VIII.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	112
Tableau VIII.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	114
Tableau IX.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	118
Tableau IX.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	119
Tableau IX.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	121
Tableau IX.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	122
Tableau IX.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	124
Tableau X.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	127
Tableau X.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	128
Tableau X.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	130
Tableau X.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	131
Tableau X.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	133
Tableau XI.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	135
Tableau XI.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	136
Tableau XI.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	138
Tableau XI.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	139
Tableau XI.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	140

Tableau XII.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	143
Tableau XII.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	144
Tableau XII.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	145
Tableau XII.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	147
Tableau XII.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	148
Tableau XIII.1 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₁	151
Tableau XIII.2 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₂	152
Tableau XIII.3 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₃	153
Tableau XIII.4 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₄	155
Tableau XIII.5 - Grille et diagramme de comportement pour le problème C ₆	157
Tableau XIV - Diagramme des étapes utilisées par les élèves qui ont réussi et qui ont échoué le problème C ₁	163
Tableau XV - Diagramme des étapes utilisées par les élèves qui ont réussi et qui ont échoué le problème C ₂	167
Tableau XVI - Diagramme des étapes utilisées par les élèves qui ont réussi et qui ont échoué le problème C ₃	172
Tableau XVII - Diagramme des étapes utilisées par les élèves qui ont réussi et qui ont échoué le problème C ₄	175
Tableau XVIII - Diagramme des étapes utilisées par les élèves qui ont réussi et qui ont échoué le problème C ₆	178
Tableau XIX - Performance des élèves pour chacun des problèmes.....	181

Tableau XX - Diagramme de la somme des étapes utilisées
pour l'ensemble des cinq problèmes selon que l'élève
est fort, moyen ou faible en physique..... 103

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - La structure générale du programme "UNDERSTAND"	23
Figure 2 - Organisation schématique du programme "NEWTON".....	29
Figure 3 - Le cheminement d'"ISAAC" pour résoudre des problèmes de mécanique statique.....	32
Figure 4 - Positions relatives du sac de sable par rapport au sol au temps t_0 , t_1 et t_2	34
Figure 5 - Diagramme associé à la construction de la représentation scientifique.....	35
Figure 6 - Cheminement de "ATWOOD" pour résoudre des problèmes complexes de mécanique.....	37
Figure 7 - Schéma des cheminements de solution d'un problème.....	45
Figure 8 - Illustration de la grille d'analyse.....	78
Figure 9 - Illustration du diagramme des étapes de solution.....	79

A Francine et Julie pour
leur soutien indéfectible
tout au long de cette recherche.

INTRODUCTION

Il est un fait admis depuis longtemps que l'enseignement (des sciences) doit comporter plus que la simple transmission d'informations factuelles. Cet enseignement doit aussi avoir pour objectif le développement des processus cognitifs reliés aux différentes étapes de l'apprentissage. Comme le mentionne Lockhead (1979, p.1,2), nous devrions enseigner aux élèves comment penser mais ce que nous faisons principalement c'est de leur enseigner quoi penser. Ceci revient à dire que nous sommes souvent plus intéressés par la réponse qu'ils fournissent que par le cheminement intellectuel qu'ils utilisent pour obtenir cette réponse. A quoi faut-il attribuer cet état de fait? Lockhead ajoute:

"One hundred years ago schools strove to develop good habits of mind. Since little was known concerning the detailed structure of these habits they could only be taught indirectly. It was widely believed that subjects such as Latin and mathematics required, and therefore developed, both discipline and logical analyses. Although his model of implicit instruction lost favor after it was "discredited" by Thorndike's transfer experiments, it is still used to justify many practices in (higher) education... Further more in the primary and secondary schools, where behaviorist educational psychology has its biggest impact, there is now almost no stress on disciplining the mind. In some schools the emphasis on objectively measurable behavioral outcomes has meant that multiple choice test have virtually eliminated the need to write (and grade) essays."

On connaît les efforts qui ont été déployés depuis quelques décennies pour améliorer l'enseignement des sciences. Parmi les raisons invoquées pour justifier ces efforts, on notait le fait que la majorité des programmes faisaient appel à la mémoire plutôt qu'au "raisonnement" sans toutefois définir plus précisément ce qu'on entendait par ce mot. Qu'en est-il aujourd'hui de ces programmes? Notre expérience quotidienne avec des adolescents du niveau de cinquième secondaire montre que plusieurs d'entre eux craignent toujours de s'inscrire dans un cours de sciences et lorsqu'ils le font, beaucoup éprouvent des difficultés sérieuses à le réussir. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de la physique. On n'a qu'à observer les faibles pourcentages de réussite dans cette discipline pour s'en rendre compte. Lorsqu'on interroge les élèves sur les raisons de leurs difficultés, ils répondent que c'est un cours qui demande beaucoup de compréhension et que les problèmes qu'ils doivent résoudre sont souvent très difficiles. Si on pousse plus avant l'interrogation sur les difficultés à résoudre ces problèmes, ils répondent des choses comme celles-ci:

"Je comprends difficilement le sens des problèmes; je ne sais jamais par où débiter la solution d'un problème; je ne sais pas quelle(s) formule(s) choisir pour résoudre le problème; je ne sais pas toujours quelle information utiliser dans le problème; j'essaie de faire comme le professeur me l'a montré mais ça ne marche pas; etc."

Ces remarques ne surprennent pas ceux qui s'intéressent à l'enseignement de cette science, car l'un des objectifs principaux est justement l'acquisition d'habiletés nécessaires dans la résolution de problèmes. Il serait intéressant d'élaborer des stratégies d'enseignement qui permettraient l'acquisition de méthodes plus efficaces pour résoudre correctement des problèmes de physique. D'ailleurs, Reif (1981) fait remarquer que la connaissance ne consiste pas essentiellement en une collection de faits et de lois (la connaissance déclaratoire) mais aussi en un ensemble de procédures (la connaissance procédurale) permettant l'utilisation flexible de cette connaissance déclaratoire. Ces deux types de connaissances devraient permettre aux élèves de faire face plus adéquatement à toutes les situations nouvelles qui se présentent à eux.

Avant de proposer des façons de développer des stratégies efficaces pour enseigner la résolution de problèmes, il convient de chercher à identifier les difficultés reliées à la solution des problèmes. La présente étude cherche à détecter ces difficultés chez des élèves qui suivent des cours de physique en cinquième secondaire. Les recherches actuelles en résolution de problèmes se regroupent autour de trois grandes orientations. L'une s'attache à élucider les mécanismes de la compétence. Nous entendons par compétence les caractéristiques particulières reliées à la solution

efficace des problèmes. Les travaux de Larkin, Mc Dermott, Simon et Simon (1980a) montrent que cette compétence dépend en outre chose de la nature des stratégies prises pour sélectionner les opérateurs. Une seconde orientation analyse les processus employés par des élèves lorsqu'ils essaient de résoudre des problèmes dans une discipline particulière (Bhaskar et Simon, 1977; Simon et Simon, 1978). Finalement, la troisième orientation met à l'essai différentes stratégies d'enseignement qui permettraient l'acquisition de processus efficaces de résolution de problèmes (Reif, Larkin, Brackett, 1976; Reif et Heller, 1981).

La présente étude fait partie du second groupe de recherches. Elle vise à décrire et à analyser les processus de solutions de problèmes en physique employés par des élèves de cinquième secondaire et ainsi parvenir à identifier les difficultés les plus fréquemment rencontrées dans cette activité intellectuelle.

Pour réaliser cette étude, des élèves seront amenés à résoudre des problèmes de physique du genre de ceux qu'ils rencontrent dans leur cours. Leur démarche de solution sera enregistrée et analysée par la suite à l'aide d'un modèle de solution de problèmes construit à partir des recherches existantes sur l'intelligence artificielle et la simulation par ordinateur. Le compte rendu de cette étude s'articule autour de cinq chapitres. Les bases théoriques pertinentes

à l'étude de la résolution de problèmes sont d'abord établies. Le deuxième chapitre décrit la démarche entreprise pour recueillir les données. Suivent deux chapitres où seront analysées les données et présentés les résultats. La conclusion de cette étude constitue le cinquième chapitre.

CHAPITRE I - LES FONDEMENTS THEORIQUES DE L'ETUDE

Il importe d'abord de situer la présente recherche en revoyant les différentes théories psychologiques concernant le processus de la résolution de problèmes. Parmi celles-ci, la théorie du traitement de l'information sera retenue pour servir de cadre conceptuel et étudiée plus en détails. Différents modèles découlant de cette théorie ont été avancés pour représenter les étapes à franchir dans la résolution de problèmes, notamment des modèles de construction de l'"espace du problème", étape de compréhension, et des modèles de "stratégies de choix d'opérateurs", étape de la planification de la solution. Le chapitre se termine par la présentation du modèle synthèse du processus de solution de problèmes utilisé pour l'étude des méthodes de solution de problèmes de physique d'élèves du niveau secondaire au Québec.

1.1 Différentes théories de la résolution de problèmes

Les premières hypothèses sur la nature des processus de résolution de problèmes, firent leur apparition vers le début de notre siècle. Formulées par Dewey (1910) et Wallas (1926), elles avaient pour fondement une analyse logique des processus cognitifs utilisés pour penser. Dans la présente section, nous procéderons à une analyse de différentes écoles de psychologie et leur conception de la résolution de problèmes.

1.1.1 La théorie de la Gestalt

Les tenants du Gestaltisme, dont Duncker (1945) et Wertheimer (1959) réalisèrent les premières études expérimentales portant sur la résolution de problèmes. Pour eux, l'acte de résoudre un problème est associé à des processus d'organisation de la connaissance. Les psychologues de cette école désiraient connaître comment les gens se représentaient l'information reliée à un problème, comment ils la modifiaient, l'emmagasinaient et allaient la chercher sur demande. On analysait les problèmes comme étant des situations pour lesquelles les représentations cognitives étaient, soit incomplètes, soit inconsistantes. Solutionner un problème consistait donc à trouver une façon de remanier la situation pour obtenir une représentation plus structurée. On attachait plus d'importance aux processus de compréhension qu'aux processus de solution. Ces études, bien qu'ayant fourni de nombreux exemples intéressants sur les processus de la pensée, n'ont pas permis l'émergence de principes généraux pouvant conduire à l'édification d'une théorie solide sur la résolution de problèmes (Greeno, 1978).

1.1.2 La théories behavioriste

Dans les analyses de la résolution de problèmes élaborées par la psychologie behavioriste, la mémoire joue un rôle plus important que dans la théorie de la Gestalt. Ainsi

Maltzman (1955) caractérise le comportement associé à la résolution d'un problème comme étant le résultat de changements qui s'opèrent dans l'ensemble du réseau de stimulus-réponses que possède le sujet. Ces changements seraient emmagasinés dans la mémoire. Pour les behavioristes, un problème surgit quand la réponse nécessaire pour atteindre le but est moins évidente que d'autres réponses, ou quand plusieurs réponses sont requises et qu'il est fort peu probable que l'individu soit en mesure de toutes les produire. Les analyses behavioristes mettent donc l'accent sur la nécessité pour une personne, d'exécuter une série d'actions pour faire ressortir la réponse la plus probable. Bien que les études behavioristes aient identifié des conditions qui facilitent ou empêchent la solution d'un problème, selon Greeno (1979), elles n'ont fourni que peu d'analyses substantielles sur les composantes de la résolution de problèmes qui permettent le développement d'un modèle théorique allant plus loin que la définition de certains concepts généraux de la résolution de problèmes.

Selon Feldhusen et Guthrie (1979) et Feldhusen (1980), la résolution de problèmes est probablement la forme la plus complexe du fonctionnement cognitif humain, et bien que de nombreux efforts aient été faits pour parvenir à une véritable approche expérimentale de la résolution de problèmes, ceux-ci n'ont pas donné tous les résultats escomptés car ils reposaient trop sur l'intuition et l'analyse logique. Pour

Feldhusen (1980), l'espoir le plus grand, pour comprendre les mécanismes associés à la résolution de problèmes, repose sur l'utilisation de théories du traitement de l'information.

1.1.3 La théorie du traitement de l'information

La psychologie cognitive a vu apparaître vers la fin des années quarante un nouveau paradigme pour l'étude de la résolution de problèmes, l'ordinateur, cette machine à manipuler des symboles à un niveau de quantité et de rapidité encore jamais égalé. Avec l'apparition des ordinateurs, on a assisté à l'émergence de nouveaux concepts sur les différentes façons qu'ont les humains de traiter l'information ainsi que le développement d'un nouveau formalisme, la programmation, pour décrire ces façons avec plus de précision. C'est de là que s'est développée la théorie du traitement de l'information. L'explication du comportement d'un système de traitement de l'information repose sur un ensemble de règles posées en hypothèses et qui s'appelle un programme. Comme exemple d'un programme "simple" simulant le comportement relié à la résolution de problèmes, Newell et Simon (1972) proposent le système de productions. Il se compose d'une partie "conditions" et d'une partie "action". Les règles d'opérations d'un tel système de productions sont les suivantes: (a) les productions sont organisées de façon linéaire (les unes à la suite des autres) et la partie "conditions" de chacune des productions est vérifiée à tour

de rôle; (b) si au cours du processus de vérification la partie "conditions" est satisfaite, l'action est exécutée sur-le-champ; lorsque l'exécution d'une production est terminée, le processus de testing reprend avec la première production inscrite sur la liste.

Nous examinons dans les pages qui suivent la théorie du traitement de l'information élaborée par Newell et Simon (1972) et appliquée à la résolution de problèmes chez les humains. Nous avons choisi cette théorie comme cadre conceptuel de notre recherche pour trois raisons. La première est que, grâce aux nombreux travaux de Newell et Simon (1972) sur la modélisation des comportements humains durant la solution de problèmes, cette théorie a acquis une validité substantielle pour décrire et expliquer les processus employés par ces humains pour résoudre les problèmes. La seconde est que dans de nombreuses recherches sur la résolution de problèmes de physique, les auteurs réfèrent souvent aux travaux de Newell et Simon (Bhaskar et Simon, 1977; Hestenes, 1979; Larken et Reif, 1979; Larkin et al. 1980a, 1980b; Reif et Heller, 1981). La troisième est que du point de vue pédagogique, elle suggère des façons d'enseigner des processus pour améliorer la performance des élèves dans leurs résolutions de problèmes (Larkin, Heller, Greeno, 1980)

Cette théorie s'articule autour de trois notions principales: (1) le système de traitement de l'information proprement dit; (2) l'environnement de la tâche; (3) l'espace du problème.

Voyons plus en détail en quoi consiste chacune de ces trois notions. Dans la section 1.2 du présent chapitre, il sera question de programmes modélisant la façon dont les personnes et des ordinateurs résolvent des problèmes dans différents domaines de la connaissance.

1.1.3.1 Le système de traitement de l'information

La théorie mise de l'avant par Newell et Simon (1972) postule d'abord que le fonctionnement de la pensée humaine peut être associé à un système de traitement de l'information dont la structure générale est la suivante. Dans ce système, l'information (visuelle, auditive, tactile, etc.) provenant du monde extérieur est captée par un ensemble de récepteurs qui l'acheminent vers un processeur où elle est traitée (transformée). Une fois la transformation achevée, cette information est emmagasinée dans une mémoire à long terme sous la forme de structures de symboles. En retour, cette mémoire à long terme fournit de l'information encodée au processeur qui la modifie de façon à la rendre utilisable par des exécuteurs qui font en sorte que cette information retourne dans l'environnement. Si le système dispose d'une mémoire externe, il peut y consigner des informations qu'il

pourra réutiliser si le besoin s'en fait sentir. Dans l'étude du processus de résolution de problèmes, nous sommes intéressés au traitement que subit l'information reçue au niveau du processeur et des différentes mémoires avant de retourner dans l'environnement.

A. Le processeur

Examinons d'abord le processeur qui consiste en: (a) un ensemble de processus élémentaires de traitement de l'information; (b) une mémoire à court terme contenant les inputs et les outputs des processus élémentaires de traitement de l'information; (c) un interprète aussi appelé séquenceur.

L'ensemble des processus élémentaires opère sur des symboles ou des ensembles structurés de symboles. Il peut s'agir d'assigner des symboles à des réalités ($m = \text{masse}$), de discriminer entre des symboles ($v = \text{grandeur de la vitesse}$, $v = \text{grandeur et direction de la vitesse}$), de créer des structures de symboles ($d = 0,5 \text{ a } t^2$).

Les résultats des processus élémentaires sont envoyés dans une mémoire à court terme (MCT) pour une période d'environ une quarantaine de millisecondes (Sternberg, 1966). La quantité d'informations qui peut être emmagasinée dans cette mémoire dépend de la familiarité des informations et du nombre de symboles requis pour encoder chaque information (Miller, 1956). Etant donné le peu de capacité de cette mémoire, l'information contenue dans celle-ci est transférée

dans une mémoire plus vaste appelée la mémoire à long terme (MLT).

Le rôle de l'interprète ou séquenceur, dans le système, consiste à déterminer l'ordre dans lequel seront exécutés les processus élémentaires de traitement de l'information. Pour fixer son choix sur une séquence plutôt qu'une autre, l'interprète utilise exclusivement de l'information contenue dans la mémoire à court terme.

B. La mémoire à long terme

La capacité de la mémoire à long terme (MLT) semble illimitée. Dans cette mémoire, l'information est stockée sous diverses formes facilitant ainsi son rappel, une lettre, un mot, un regroupement d'informations spécifiques. Un exemple d'une représentation symbolique de l'information dans cette mémoire est le réseau sémantique (Anderson et Bower, 1973; Greeno, 1976, 1977; Hunt, 1973; Kintch, 1970; Rumelhart, Lindsay et Norman, 1972). Celui-ci est composé de noeuds représentant des états de la connaissance comme des faits, des objets, des concepts, des attributs, des principes et des liens correspondants aux relations entre les divers noeuds.

C. La mémoire externe

La mémoire externe est composée d'informations utiles contenues dans des notes, des volumes ou autres documents.

Un système de traitement de l'information qui dispose en plus de ses mémoires internes, d'une mémoire externe, aura un comportement différent d'un système qui en est privé. Ainsi, il est plus facile à une personne qui travaille avec

ses notes ou son volume de trouver les informations ou les cheminements possibles (problèmes types) pour résoudre un problème. Selon Newell et Simon (1972), cette mémoire augmente de façon très appréciable la capacité de la mémoire à court terme où se déroule la solution du problème.

1.1.3.2 L'environnement de la tâche

La deuxième notion développée dans la théorie du traitement de l'information de Newell et Simon est celle de l'environnement de la tâche (ou environnement du problème). Ce dernier consiste en une description objective, de la part de l'expérimentateur, de tout ce que doit faire le système pour réaliser la tâche qui lui est demandée, par exemple, résoudre un problème. Cette description doit englober l'ensemble des stimuli qui détermineront le comportement du système devant le problème. Par exemple, pour résoudre un problème de physique, le système, qu'il soit une personne ou un ordinateur, devra savoir à quel domaine appartient le problème, quels sont les concepts de ce domaine applicables au problème, comment utiliser ces concepts pour obtenir de l'information nouvelle, comment utiliser des connaissances mathématiques pour manipuler ces concepts.

1.1.3.3 L'espace du problème

Lorsqu'on veut décrire l'action d'une personne en train de résoudre des problèmes, on doit, en plus d'observer ses comportements externes, inférer des comportements cachés et les causes de ces derniers. On recherche pourquoi le sujet procède de telle façon plutôt que de telle autre. Il faut arriver à décrire cet espace où se déroule la réflexion associée à la solution d'un problème. Cet espace, Newell et Simon (1972) l'ont baptisé l'espace du problème.

Cet espace est la représentation mentale du problème que se construit l'individu pour pouvoir exécuter les actions qui lui permettront de résoudre le problème. Cet espace permet à la personne de considérer différentes situations, de les caractériser, d'en sélectionner une et de choisir les opérateurs pertinents pour résoudre le problème. Simon et Newell (1972), Simon (1978) affirment que la construction de cet espace est une composante essentielle du comportement inhérent à la résolution de problèmes. Cette construction de l'espace s'observe chez tous les individus peu importe le genre de problèmes qu'ils ont à résoudre. C'est au cours de la phase compréhension du problème, que cet espace est construit ou évoqué s'il est déjà emmagasiné dans la mémoire à long terme.

Voyons le contenu de cet espace, illustré de quelques exemples tirés de la physique. Cet espace contient: (1) les

éléments du problème (une auto, une force, une particule);

(2) les attributs ou caractéristiques des éléments (l'auto a une vitesse de 50 km/h, la force est de 10N, la particule a une masse de 10^{-27} kg);

(3) les relations spatiales entre les éléments (l'auto est à 100 m d'une intersection, la force fait un angle de 30 degrés d'avec l'horizontale, la particule est au sommet de sa trajectoire); (4) le but du problème (trouvez le temps de freinage de l'auto, calculez l'accélération de la particule); (5) les opérateurs (ensemble de processus de traitement de l'information) pour effectuer les transformations ($v_{\text{auto}} = a_{\text{auto}} t$, $F = m a \dots$); (6) les conditions d'application des opérateurs (si la vitesse de l'auto varie de façon constante, je peux employer $v = at$, si la force résultante et la masse de l'objet sont connues, j'utilise $F = ma$).

Toutes ces informations constituent l'espace minimal du problème. Cependant, la personne peut incorporer dans cet espace des informations supplémentaires qu'elle juge potentiellement utiles pour l'élaboration d'une solution (Heller et Greeno, 1979). Selon Hayes et Simon (1974), une meilleure connaissance du processus de construction de l'espace permettrait une meilleure compréhension de la relation qui existe entre la présentation du problème (l'environnement de la tâche) et l'espace construit à partir de représentations de celui-ci.

La dimension et la forme de cet espace sont variables et ceci, indépendamment de la difficulté du problème. Ainsi, une information abondante et bien structurée permettra une recherche plus sélective d'une solution, tandis que le contraire favorisera un cheminement plus aléatoire. Par exemple, pour un même problème, certains individus essaieront des formules les unes après les autres jusqu'à ce qu'ils obtiennent une solution qui les satisfassent. D'autres utiliseront des graphiques et trouveront les informations recherchées à l'aide des notions de pente et de surface sous la courbe.

1.2 Modèles de résolution de problèmes explicables par la théorie du traitement de l'information

Selon Newell et Simon (1972), une bonne théorie psychologique de la résolution de problèmes requiert non seulement une analyse adéquate des procédures qu'une personne exécute pour solutionner des problèmes, mais aussi un répertoire de mécanismes possibles à partir desquels nous pouvons conjecturer l'existence de processus expliquant la performance observée. C'est pourquoi, expliquent Newell et Simon (1972), il doit exister une symbiose entre la psychologie (cognitive) et l'intelligence artificielle en autre chose, car pour les chercheurs de cette dernière discipline, l'ordinateur est un laboratoire qui permet de découvrir de nouvelles façons de penser la pensée. Par exemple, la compréhension de nombreuses caractéristiques du comportement hu-

main dans la solution de problèmes a été considérablement enrichie par l'étude des processus employés par les programmes informatiques pour résoudre des problèmes similaires.

Il existe aussi une autre discipline qui a contribué à l'essai de la psychologie cognitive, c'est la simulation par ordinateur. Celle-ci consiste à élaborer d'abord des modèles informatiques pour exécuter une tâche particulière comme résoudre des problèmes, pour ensuite ajuster les processus de ces modèles avec ceux de sujets humains. On distingue la simulation de l'intelligence artificielle par le fait que cette dernière ne se préoccupe pas nécessairement de faire de tels ajustements. Les modèles de résolution de problèmes dont il sera question dans les pages suivantes firent leur origine de l'une ou l'autre de ces disciplines. Ces modèles mettent l'accent sur les processus employés pour construire l'espace du problème et les stratégies générales utilisées pour sélectionner les opérateurs.

1.2.1 Modèles illustrant la construction de la représentation du problème

En général, lorsqu'un système de traitement de l'information, une personne ou un ordinateur, est confronté à un problème, il doit d'abord le comprendre. Cette étape de la compréhension correspond dans la théorie du traitement de l'information à la construction d'une représentation du problème appelée l'espace du problème.

Dans cette section, il sera d'abord question de différents modèles illustrant des procédures utilisées par des humains ou des ordinateurs pour construire leurs espaces du problème à partir de la présentation sous forme écrite de ce problème. Ces modèles sont illustrés sous la forme de programmes informatiques. Ces derniers sont des ensembles de règles qui décrivent des séquences de processus de traitement de l'information qu'exécute le système (Newell et Simon, 1972).

A. Le programme "UNDERSTAND"

Le programme "UNDERSTAND" construit par Hayes et Simon (1974) simule les procédures employées par des personnes pour construire leurs espaces du problème lorsqu'elles travaillent sur un type de problèmes qui ne leur est pas familier (e.g. les tours de Hanoi, la cérémonie du thé, etc). Le programme s'attache à montrer comment l'information contenue dans le texte du problème se combine avec de l'information déjà présente dans la mémoire à long terme pour permettre aux personnes d'interpréter correctement les instructions du problème afin de les transformer en inputs appropriés pour le processus de solution. Le programme a aussi pour but de permettre de répondre aux questions suivantes: que font les personnes une fois qu'elles ont pris connaissance du problème? Transcrivent-elles l'information au fur et à mesure qu'elles lisent le problème? Attendent-elles d'avoir lu le problème dans son entier avant

de recopier l'information? Quel genre d'information extraient-elles du texte? Pour tenter de répondre à ces diverses questions, Hayes et Simon (1974) ont analysé les procédures employées par une personne, et par la suite, les ont simulées au moyen d'un programme. Le résultat de cet exercice a produit le modèle suivant représenté par la Figure 1.

Ce modèle se compose d'un processus de compréhension qui génère l'espace du problème et d'un processus de solution qui utilise cet espace pour explorer les diverses étapes menant à la solution. Le processus de compréhension débute avec la présentation des instructions (le texte) du problème et se termine quand la personne a acquis une séquence d'opérateurs lui permettant de débiter la solution. Nous n'examinerons ici que le processus de compréhension.

Ce processus se compose de deux sous-processus. Le premier est celui de l'interprétation du langage utilisé pour décrire le problème. Ce sous-processus opère en lisant de courts segments du texte. Il en extrait l'information au moyen des règles de l'analyse syntaxique et sémantique. Le second sous-processus analyse plus en profondeur l'information extraite et l'intègre au modèle interne de la situation en train de s'élaborer. Ce modèle de la situation devient l'espace du problème. Le seul comportement que le programme "UNDERSTAND" ne reproduit pas et qu'on trouve chez les

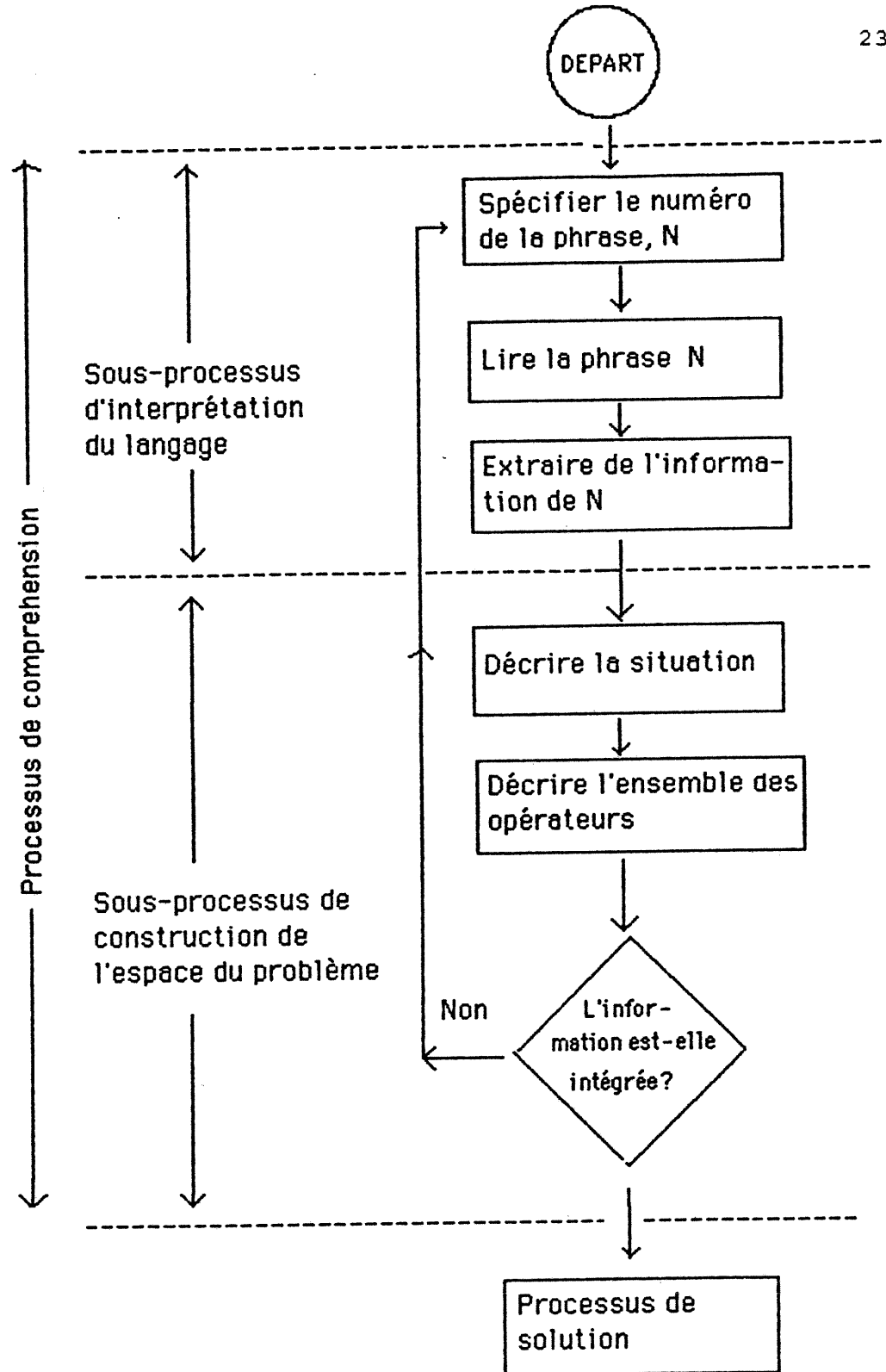


Fig. 1 La structure générale du programme "UNDERSTAND".

humains c'est l'alternance entre le processus de compréhension et le processus de solution.

B. Le programme "STUDENT"

Selon Larkin, Mc Dermott, Simon et Simon (1980a), l'une des composantes essentielles de la capacité (Skill) à résoudre des problèmes de physique est l'habileté (ability) à transformer le langage naturel du problème en équations. Le programme "STUDENT" examine les processus employés pour effectuer ces transformations.

C'est dans le cadre de ses travaux sur l'intelligence artificielle que Bobrow (1964,1968) a proposé ce programme. Le chercheur voulait construire un programme informatique qui pourrait communiquer avec des gens pour les aider à résoudre des problèmes d'algèbre. Les personnes écriraient les problèmes dans leur langue, par exemple en anglais et l'ordinateur les traduirait dans son propre langage afin de les résoudre. L'objectif du programme était de transformer les énoncés d'un problème en une série d'équations. Le programme commence par faire une liste des variables et unités mentionnées dans le texte. Chaque variable se voit attribuer le qualificatif "désirée" ou "connue". Ensuite, ces variables sont reliées entre elles par une ou plusieurs équations. Ces dernières sont confiées à une sous-routine "SOLVE" pour obtenir les informations recherchées. Cependant, la connaissance sémantique de ce programme est extrê-

mement limitée. Elle se confine principalement à la connaissance du vocabulaire algébrique nécessaire pour résoudre les problèmes.

Dans quelle mesure un programme comme "STUDENT" modélise-t-il les processus de compréhension et de solution qu'emploient les humains pour résoudre des problèmes d'algèbre? Pour répondre à cette question, Paige et Simon (1966) ont analysé le comportement d'une trentaine de sujets de niveaux collégial et universitaire. Ensuite, ils ont comparé ces comportements à ceux de "STUDENT". Ces comparaisons ont permis d'établir: (1) que les humains ont un comportement similaire à celui du programme lorsque les problèmes sont très simples et/ou familiers aux personnes; (2) qu'à la différence de "STUDENT", certains sujets se construisent un espace du problème plus élaboré contenant des représentations auxiliaires comme un dessin pour leur aider à construire les équations. Ce comportement s'observe surtout dans la solution de problèmes algébriques plus complexes que ceux résolus par "STUDENT".

Dans la même veine, Hinsley, Hayes et Simon (1974) ont montré que les gens abordaient la solution de problèmes d'algèbre de deux façons différentes. Si les gens reconnaissent que le problème appartient à une catégorie connue de problèmes d'algèbre, ils emploient des heuristiques spéciales pour reformuler et résoudre les problèmes. Par

exemple, certaines gens emmagasinent des schémas de résolution de problèmes dans leur mémoire (MLT) et à la lecture du problème, ces schémas sont évoqués immédiatement. Si le problème ne leur est pas familier, les gens adoptent une attitude similaire au programme "STUDENT" en lisant d'abord le problème ligne par ligne, mais en y ajoutant de l'information grâce à l'utilisation de représentations auxiliaires.

Les programmes "STUDENT" et "UNDERSTAND" n'explorent pas les processus utilisés pour comprendre des problèmes ayant un contenu sémantique élaboré, problèmes dans lesquels les sujets doivent faire appel à des connaissances particulières emmagasinées dans la mémoire à long terme. Ces connaissances doivent apparaître dans la représentation construite au cours du processus de compréhension. Pour décrire les comportements reliés à la solution de problèmes ayant un contenu sémantique élaboré, on doit faire appel à des programmes plus sophistiqués que les programmes "STUDENT" et "UNDERSTAND". Dans les sections suivantes, nous allons examiner de tels programmes proposés par de Kleer, Novak et Larkin.

C. Le programme "NEWTON"

En intelligence artificielle, de Kleer (1975, 1977) a créé un programme nommé "NEWTON" qui se veut un système expert dans la résolution de problèmes de mécanique classique. Il offre la possibilité, pour résoudre un même

problème, d'employer diverses représentations où s'appliquent des techniques différentes de raisonnement. En employant ces représentations multiples, le système expert peut servir à résoudre des problèmes de difficultés variables et, plus important encore, il peut choisir les techniques de raisonnement appropriées à la difficulté du problème.

Pour résoudre des problèmes de mécanique classique, de Kleer soutient qu'il y a deux types de connaissances qu'un système doit posséder, la connaissance qualitative et la connaissance quantitative. La première décrit la situation en termes très généraux (la balle tout en ralentissant monte le plan incliné jusqu'à ce qu'elle s'arrête). La seconde représente la même scène mais sous la forme d'équations mathématiques ($v_f = v_i - at$). Ce chercheur souligne que, même si on ne s'intéresse qu'aux problèmes requérant une solution mathématique, l'analyse qualitative joue un rôle cruciale dans la résolution de ces problèmes. Cette analyse qualitative permet au système de déterminer la signification de chacune des variables connues ou désirées (la connaissance déclaratoire) et les conditions d'application des équations (la connaissance procédurale). De plus, elle remplit le rôle d'une structure de contrôle permettant au système de s'établir un plan de solution (ex.: sachant que la balle monte avec une vitesse initiale, je commencerai par trouver la hauteur à laquelle elle s'immobilisera...).

Le programme élaboré par de Kleer se présente sous la forme générale présentée à la Figure 2. Le programme "NEWTON" ne résout que des problèmes de mécanique où il est question d'objets (blocs, chariots) qui se déplacent sur des surfaces droites ou courbes, rugueuses ou lisses. Il sait détecter et discarter l'information non pertinente présente dans un problème. Il reconnaît les situations qui n'ont aucun sens du point de vue physique.

Une caractéristique importante de "NEWTON" est son habileté à décrire ce qui peut se passer dans une situation donnée. Ce processus, de Kleer l'appelle "l'envisonnement". Si l'information fournie par ce processus est suffisante pour résoudre directement le problème, le programme fait appel aux équations requises ou fournit immédiatement la réponse si celle-ci est évidente (e.g. l'énergie totale d'un objet au point A est égale à son énergie totale au point B).

Si le processus "d'envisonnement" ne peut permettre la sélection immédiate d'opérateurs, ses difficultés sont transmises à une autre représentation qualitative plus élaborée qui considère toutes les possibilités qui peuvent résulter de la situation. Cette seconde représentation qualitative se présente sous la forme d'un arbre de décision et permet au système de rassembler toutes les variables qui répondent aux questions soulevées par l'arbre de décision et

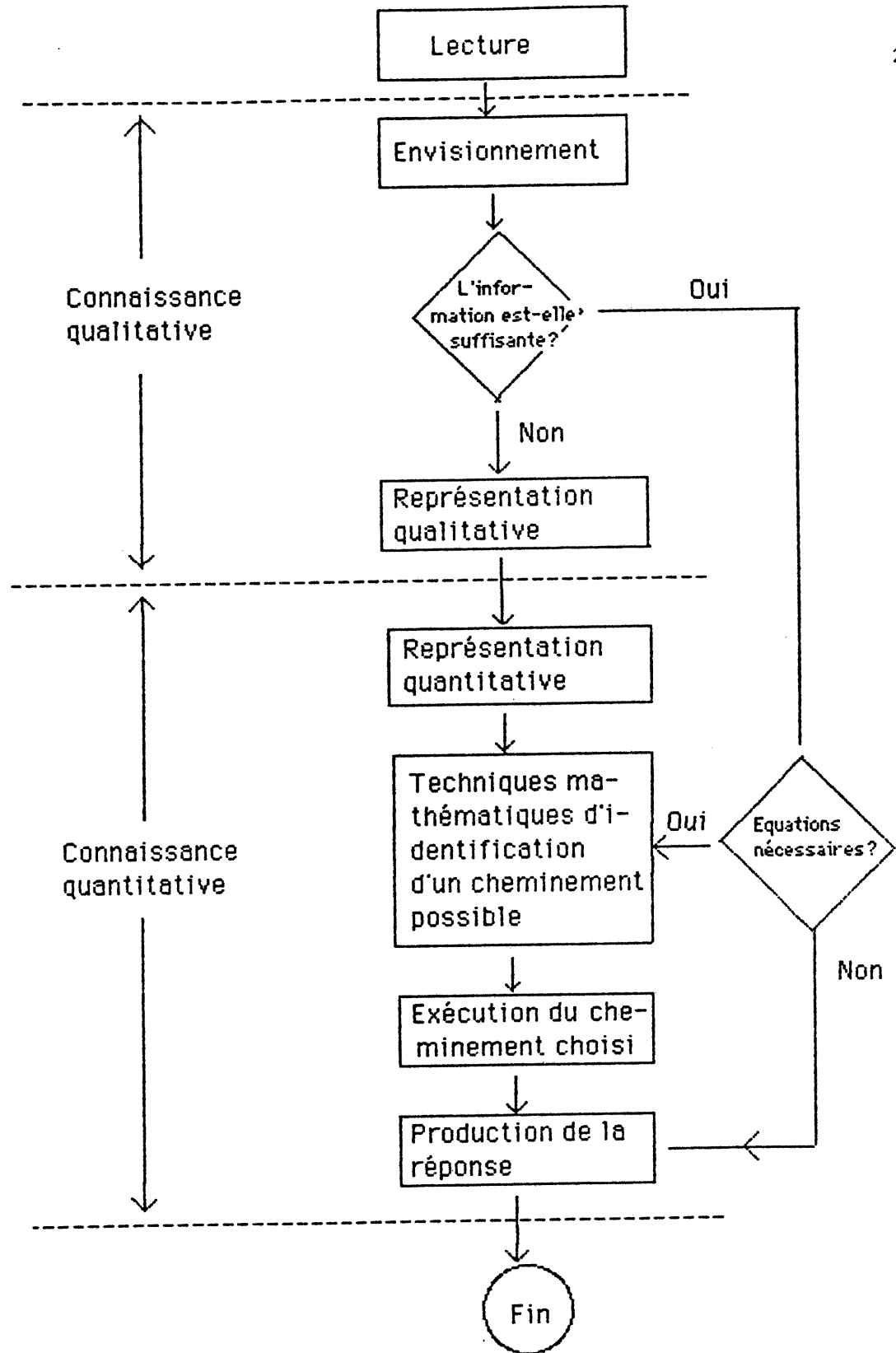


Fig. 2 Organisation schématique du programme "NEWTON".

de les transférer à une représentation quantitative qui choisira les cheminements possibles de la solution et les équations qui accompagneront ces cheminements. La fonction majeure des représentations qualitatives utilisées par "NEWTON" est de réduire le temps consacré à l'identification des opérateurs.

D. Le programme "ISAAC"

Toujours dans le domaine de l'intelligence artificielle, Novak (1977) a écrit un programme identifié "ISAAC" qui lit, comprend et résout des problèmes de mécanique statique présentés en langage naturel. Ces divers processus s'effectuent en utilisant des représentations spécialisées pour accomplir une tâche particulière ce qui, selon Novak, simplifie le processus général de solution.

La première étape de la solution débute par le processus de compréhension du texte du problème. Les phrases sont lues et analysées de façon grammaticale et sémantique. L'information ainsi extraite contribue à créer un modèle interne de la situation dans la mémoire à long terme. Ce modèle contient des représentations physiques des objets (des madriers, des échelles, des câbles...), des caractéristiques ou aspects particuliers de ces objets (l'échelle mesure cinq mètres de longueur) et les relations spatiales entre les objets (la base de l'échelle est à deux mètres du mur). Pour résoudre des problèmes de mécanique statique, il est

nécessaire d'associer à chaque objet réel un objet dit canonique. Ce dernier est une représentation abstraite de certaines caractéristiques de l'objet réel (un bloc est représenté par une masse ponctuelle, le madrier devient une ligne...). La raison pour utiliser cette représentation canonique est qu'en physique, les lois qui régissent les interactions entre les objets sont définies à partir du comportement de ces objets canoniques. Ces lois sont donc une approximation du comportement des objets réels.

Une fois la construction de la représentation canonique terminée, le programme "ISAAC" dessine un modèle géométrique de la situation pour relativiser les positions des objets par rapport à un système de référence commun à ces objets. La dernière étape qu'exécute le programme consiste à écrire les équations qui décrivent les interactions entre les divers objets canoniques. Ensuite, en utilisant un ensemble de manipulations symboliques, le programme trouve les réponses aux questions posées. Le cheminement particulier du programme "ISAAC" est représenté à la Figure 3.

Selon Novak (1977), cette notion de l'abstraction d'un petit nombre de propriétés d'un objet réel pour former une représentation d'un objet canonique est fondamentale aux développements des sciences. Toujours selon cet auteur, beaucoup de développements scientifiques majeurs ont généralement été accompagnés de l'introduction dans les théories

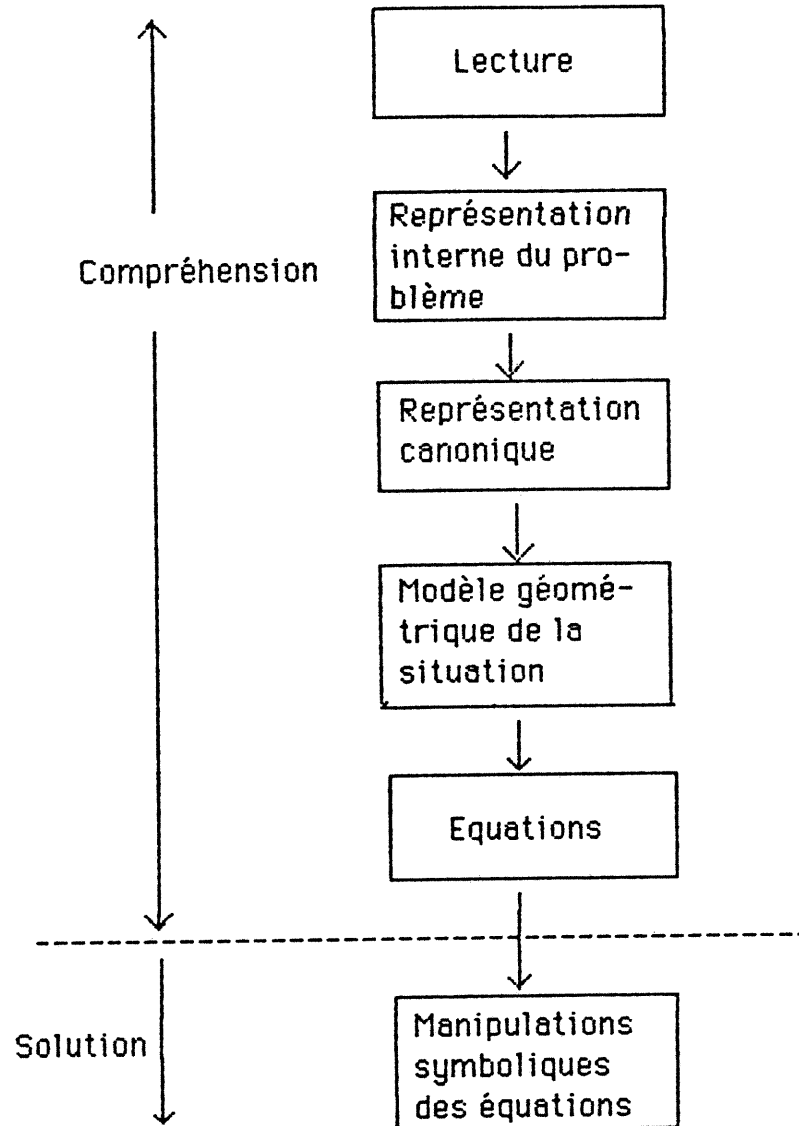


Fig. 3 Le cheminement d'ISAAC pour résoudre des problèmes de mécanique statique.

déjà existantes de nouveaux objets canoniques. Par exemple, en physique atomique, l'introduction d'une onde associée au mouvement des particules a permis le développement de la mécanique ondulatoire.

E. Le programme "ATWOOD"

Le programme "ATWOOD" élaboré par Larkin (1977) sert à la solution de problèmes de mécanique reconnus difficiles selon le degré de connaissances requises pour les résoudre.

La compréhension d'un problème ne relève pas exclusivement de la compréhension du langage utilisé dans le problème. En physique, ce qui est plus important, ce sont les connaissances du domaine du problème que la personne apporte à la situation décrite dans le problème. Ceci veut dire que la personne doit non seulement lire le texte du problème pour y identifier les objets, leurs attributs et leurs relations spatiales, mais aussi pour développer la situation et les opérateurs qui lui permettront de produire de nouvelles informations pouvant la conduire à l'obtention d'une réponse. En physique, ces opérateurs sont des principes (formules) qui permettent la génération d'informations nouvelles à partir d'informations déjà existantes. C'est pourquoi, Larkin fait l'hypothèse qu'il existe différents niveaux de compréhension d'un problème reliés à la nature des entités utilisées dans la représentation interne du problème qui va de la représentation naïve à la représentation scientifique pour se terminer par la représentation mathématique.

La représentation naïve peut se manifester suite à une lecture adéquate du problème, par une série de dessins contenant des objets du monde réel. Par exemple, prenons le cas d'un sac de sable lesté d'une montgolfière en ascension verticale. On peut illustrer la position du sac à trois instants dans son mouvement, au moment de son départ (t_0), au sommet de sa course (t_1) et juste avant de frapper le sol (t_2). On obtient ainsi un dessin similaire à celui de la Figure 4.

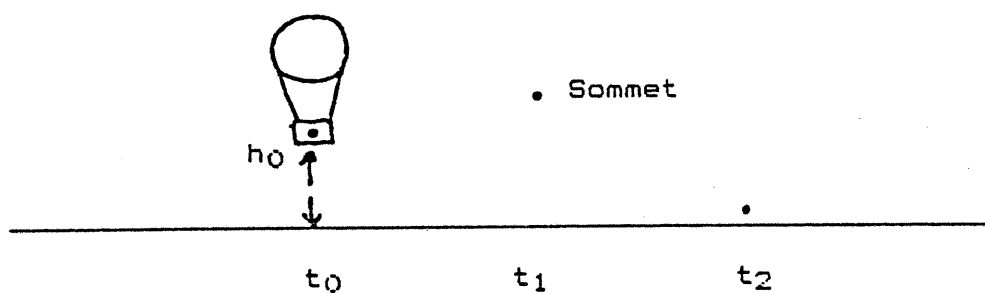


Fig. 4 Positions relatives du sac de sable par rapport au sol au temps t_0 , t_1 et t_2 .

Une des difficultés qui surgit dans la solution de problèmes de physique provient du fait que les opérateurs utilisés pour résoudre les problèmes ne travaillent pas directement sur les objets de la représentation "naïve", mais plutôt sur des objets propres à la physique, c'est-à-dire

les concepts physiques eux-mêmes. Ces entités ne peuvent être ajoutées à la représentation du problème que par des sujets qui possèdent la connaissance associée aux différents domaines de la physique et qui savent comment construire ces entités à partir de celles apparaissant dans la représentation naïve. Larkin (1981) utilise le terme représentation scientifique pour caractériser la structure mentale ne contenant que les concepts dérivés de la physique. Dans cette représentation scientifique, les entités prennent la forme de systèmes de particules, de diagrammes vectoriels (diagrammes de forces), de concepts énergétiques. Pour décrire ces entités, on utilise ce que Reif et Heller (1981) appellent des descripteurs du mouvement ($s, v, a, v_M = \Delta s / \Delta t \dots$), des descripteurs d'interactions ($F, E_C \dots W = \Delta E_p, W = F \cdot \Delta S \dots$), des principes du mouvement ($F = ma, F = \Delta p / \Delta t \dots$).

Il s'ensuit que cette représentation scientifique est beaucoup plus abstraite que la représentation naïve. Si nous revenons à l'exemple du problème de la montgolfière et du sac de sable, on associera le dessin de la Figure 5 à la construction de la représentation scientifique.

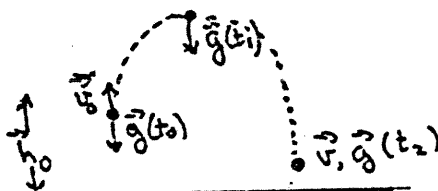


Fig. 5 Diagramme associé à la construction de la représentation scientifique

Une fois la représentation scientifique construite, il devient plus facile à la personne de sélectionner les opérateurs qui conduiront à la réponse désirée. Ces opérateurs, une fois choisis, forment ce que Larkin appelle la représentation mathématique. Sachant que le sac a été lesté à h_0 mètres du sol avec une vitesse v_0 au temps $t_0 = 0$, l'intervalle de temps pour revenir au sol sera donné par la représentation mathématique suivante:

$$t_2 = (v_0 \pm (v_0^2 - 2gh_0)^{1/2}) \div g$$

La Figure 6 montre le cheminement dans la solution de problèmes de mécanique selon le programme "ATWOOD".

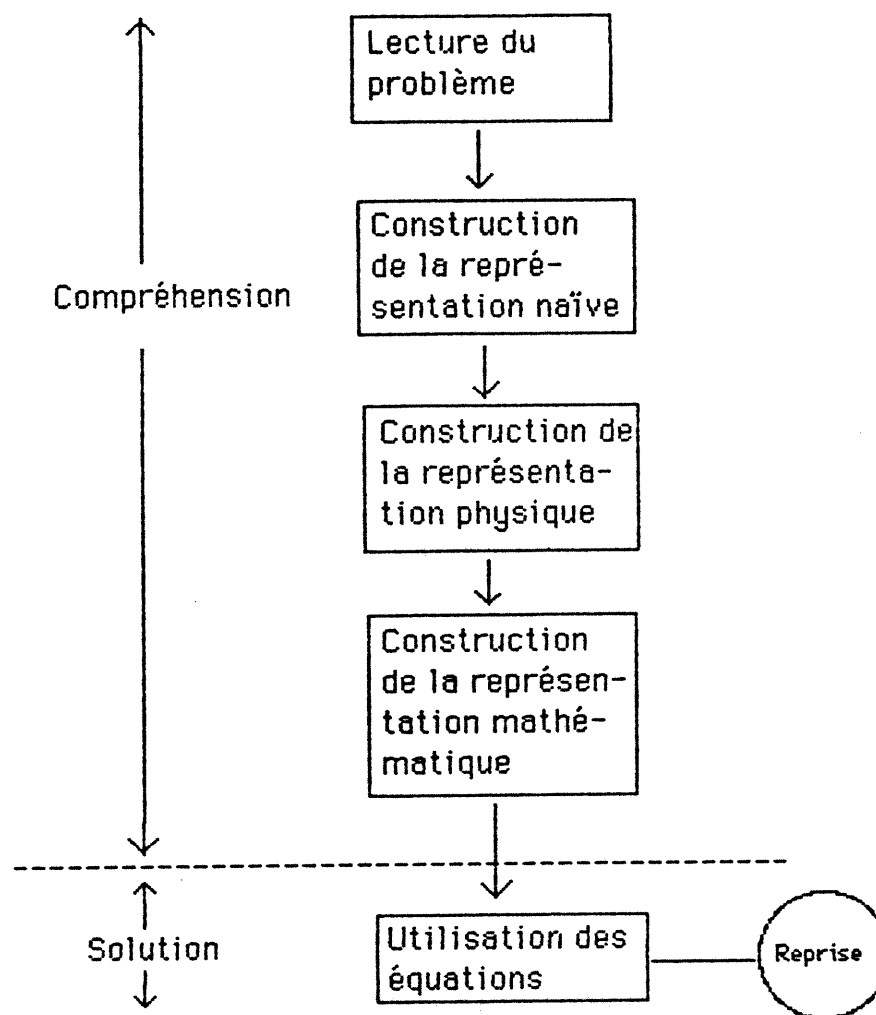


Fig. 6 Cheminement de "ATWOOD" pour résoudre des problèmes complexes de mécanique.

Les programmes précédents montrent que l'expertise dans la solution de problèmes de physique découlent de l'utilisation de représentations multiples. Il convient d'examiner leur efficacité à représenter des comportements humains associés à la compréhension des problèmes. Pour étudier la compréhension et la solution de problèmes ayant un contenu sémantique spécifique, Simon et Simon (1978) ont examiné le comportement de sujets solutionnant des problèmes de cinématique. Dans leur étude, Simon et Simon (1978) ont cherché à décrire, non seulement les connaissances explicites des concepts de la cinématique qu'un sujet doit posséder, mais aussi comment ces connaissances doivent être organisées et indexées dans la mémoire pour être utilisées de façon efficace dans la compréhension et la solution de problèmes dans ce domaine. L'une des conclusions qui se dégage de leur recherche est que la différence entre l'habileté de l'expert et celle du novice consiste en l'utilisation par l'expert d'une sorte de représentation que Simon et Simon (1979) appellent "l'intuition physique" pour résoudre les problèmes.

En dynamique, les travaux de Mc Dermott et Larkin (1978), Larkin (1980b) montrent que: (a) si le texte du problème n'est pas accompagné d'un dessin, l'expert en construira un; (b) pour choisir les équations qu'il utilisera pour résoudre le problème, l'expert construira une représentation abstraite, semblable à la représentation canonique du modèle ISAAC, ne contenant que les quanti-

tés physiques qui apparaîtront dans les équations. En se basant sur les travaux de Bundy (1978), de Bundy, Luger, Mellish et Palmer (1978) et de Novak (1977), Luger (1981) a montré que les étudiants de niveau universitaire en physique utilisent des représentations semblables à celles citées antérieurement pour résoudre des problèmes de cinématique et de mécanique. Les recherches de Chi, Feltovicch et Glaser (1981) font aussi état de l'utilisation de représentations multiples lorsque des sujets "experts" ou "novices" résolvent des problèmes de mécanique. Plus particulièrement, leur étude portait sur les changements survenant dans la nature de la représentation d'un problème à la suite du développement de l'expertise dans la compréhension et l'utilisation de la matière pertinente au problème. Ces travaux montrent que chez les humains, l'habilité à résoudre des problèmes de physique de plus en plus complexes est reliée à l'utilisation de représentations multiples allant de représentations qualitatives comme la représentation littérale ou topologique en passant par des représentations plus élaborées comme la représentation scientifique pour se terminer par la construction d'une représentation mathématique consistant en l'ensemble des équations à résoudre.

Une fois que la personne (ou le système) comprend bien la situation du problème, il lui faut prendre des décisions pour sélectionner les opérateurs qui lui permettront d'obtenir de l'information nouvelle afin de passer de la situa-

tion initiale à la situation désirée. Pour un même problème, plusieurs méthodes (stratégies) de sélection des opérateurs peuvent être utilisées. Le choix d'une méthode dépendra de l'étendue et de la qualité des représentations employées par la personne (ou le système de traitement de l'information). Suivent quelques stratégies générales susceptibles d'être utilisées par les élèves du secondaire. Il est peu utile de s'attarder sur celles utilisées par les experts.

1.2.2 Modèles de stratégies de sélection des opérateurs

Pour compléter la construction de l'espace du problème, le système de traitement de l'information (la personne ou l'ordinateur) doit choisir des opérateurs, ensemble de processus de traitement de l'information, qui lui permettront de cheminer directement ou par étape de création de nouvelles informations, vers l'information désirée (la réponse demandée). Chez les débutants, le choix des opérateurs adéquats n'est pas toujours évident. Des méthodes ont été développées pour favoriser la sélection de bons opérateurs. Quelques méthodes générales de sélection d'opérateurs sont présentées ici.

A. La méthode de l'analyse des fins et moyens

Dans la méthode de l'analyse des fins et moyens, la personne identifie d'abord l'information connue et celle

désirée. Ensuite, elle établit les différences entre ces deux types d'information. Finalement, elle choisit les opérateurs qui permettent de réduire ces différences. En physique, les opérateurs proposés sont des formules ou équations qui contiennent la variable à connaître appelée "variable désirée" pour solutionner le problème en tout ou en partie. Si l'équation retenue contient un inconnu autre que la variable désirée, on recommence le processus de la quête de formules autour de cet inconnu et ainsi de suite jusqu'à l'obtention de toutes les informations nécessaires à la précision de la valeur finale désirée que solutionne le problème.

Cette méthode générale de sélection d'opérateurs explique très bien l'ordre dans lequel "le novice" étudié par Simon et Simon (1977) applique les différentes formules de la cinématique. De même, l'analyse du protocole de l'étudiant en génie chimique par Bhashar et Simon (1977) montre que celui-ci a eu recours à cette stratégie pour résoudre des problèmes de thermodynamique. Les recherches de Larkin (1981b) et Luger (1981) ont mis en évidence l'utilisation par les étudiants de l'analyse des fins et moyens pour décider de l'ordre d'application des opérateurs dans la solution de problèmes de mécanique.

B. La méthode du développement de la connaissance

La méthode du développement de la connaissance

fonctionne à l'inverse de la précédente. On commence par identifier les variables sur lesquelles l'information est disponible et les opérateurs (formules ou équations) qui vont permettre de préciser la valeur d'une autre variable reliée aux variables connues. La nouvelle variable connue vient augmenter l'espace du problème et sert de base au choix d'un autre opérateur qui mènera à la connaissance d'une autre variable et ainsi de suite jusqu'à la découverte de la valeur cherchée qui solutionne le problème. L'emploi de cette procédure par des "experts" a été observé dans divers travaux de recherches portant sur la solution de problèmes de physique (Simon et Simon, 1977; Larkin, 1981b; Larkin, Mc Dermott, Simon et Simon, 1980a).

C. Autres stratégies de sélection des opérateurs

Il n'y a pas que les méthodes du développement de la connaissance et de l'analyse des fins et moyens qui peuvent être utilisées pour la sélection des opérateurs et servir ainsi de plan de solution d'un problème. L'élève peut, par un processus de transformation directe du texte, à la manière du modèle "STUDENT", arriver à choisir ses opérateurs. Pour un élève qui possède beaucoup d'expérience, une planification globale de succession d'opérateurs qui mèneront à la solution est possible, mais il est peu probable de la rencontrer chez les élèves qui serviront à notre recherche. Lors de l'analyse du comportement de ces élèves dans leur cheminement vers la solution d'un problème, nous identifions

rons les stratégies autres que les deux premières décrites précédemment sous une seule catégorie "autres".

1.3 Un modèle synthèse de cheminement pour la solution de problèmes de physique

Les modèles théoriques dont il a été question dans les sections 1.2.1 et 1.2.2 montrent que dans les problèmes de physique où la connaissance sémantique des mots est importante, l'utilisation de représentations multiples favorise la compréhension de ces problèmes.

Ainsi, les programmes "ATWOD", "ISAAC", et "NEWTON" nous fournissent des modèles de processus employés pour construire ces représentations. D'autre part, les différentes études empiriques citées antérieurement confirment que les humains utilisent de telles représentations et que celles-ci deviennent plus élaborées au fur et à mesure que les gens acquièrent de l'expertise dans la solution des problèmes de physique. Ces recherches montrent aussi que la sélection des opérateurs s'opèrent souvent à partir de méthodes générales, indépendantes du domaine des problèmes à résoudre. Ces méthodes ou stratégies sont l'analyse des fins et moyens et le développement de la connaissance. Comme le but de notre recherche est d'identifier les difficultés reliées à la solution de problèmes de physique chez des élèves de cinquième année du secondaire, nous nous appuyerons sur ces différents travaux pour élaborer un

modèle de cheminement de solution de problèmes qui servira de grille pour examiner le comportement de ces élèves.

Un modèle, représentant les cheminements possibles pour résoudre des problèmes de physique, pourrait prendre la forme suivante: après une lecture du problème, l'élève peut aller directement à l'étape de la sélection des opérateurs ou utiliser soit une représentation littérale, soit une représentation topologique ou une représentation scientifique pour se figurer le problème. L'élève a aussi la possibilité de passer par les diverses représentations avant de procéder aux choix de ses opérateurs. La sélection de ces derniers peut se faire via l'une des méthodes suivantes: l'analyse des fins et moyens, le développement de la connaissance ou tout autre méthode appropriée. Une fois l'espace du problème complété, l'élève procède à l'utilisation des opérateurs choisis afin de trouver la réponse. Il peut vérifier si sa démarche, tout comme la réponse obtenue sont valides. En tout temps, l'élève peut choisir de retourner à une étape antérieure avant de progresser. Un schéma de cheminements possibles à travers neuf étapes associées à la solution d'un problème est présenté à la Figure 7.

Ce schéma découle de l'ensemble des études des sections précédentes. Il servira plus loin à l'élaboration d'une grille qui sera utilisée pour l'analyse du comportement d'élèves de secondaire cinq en train d'effectuer la

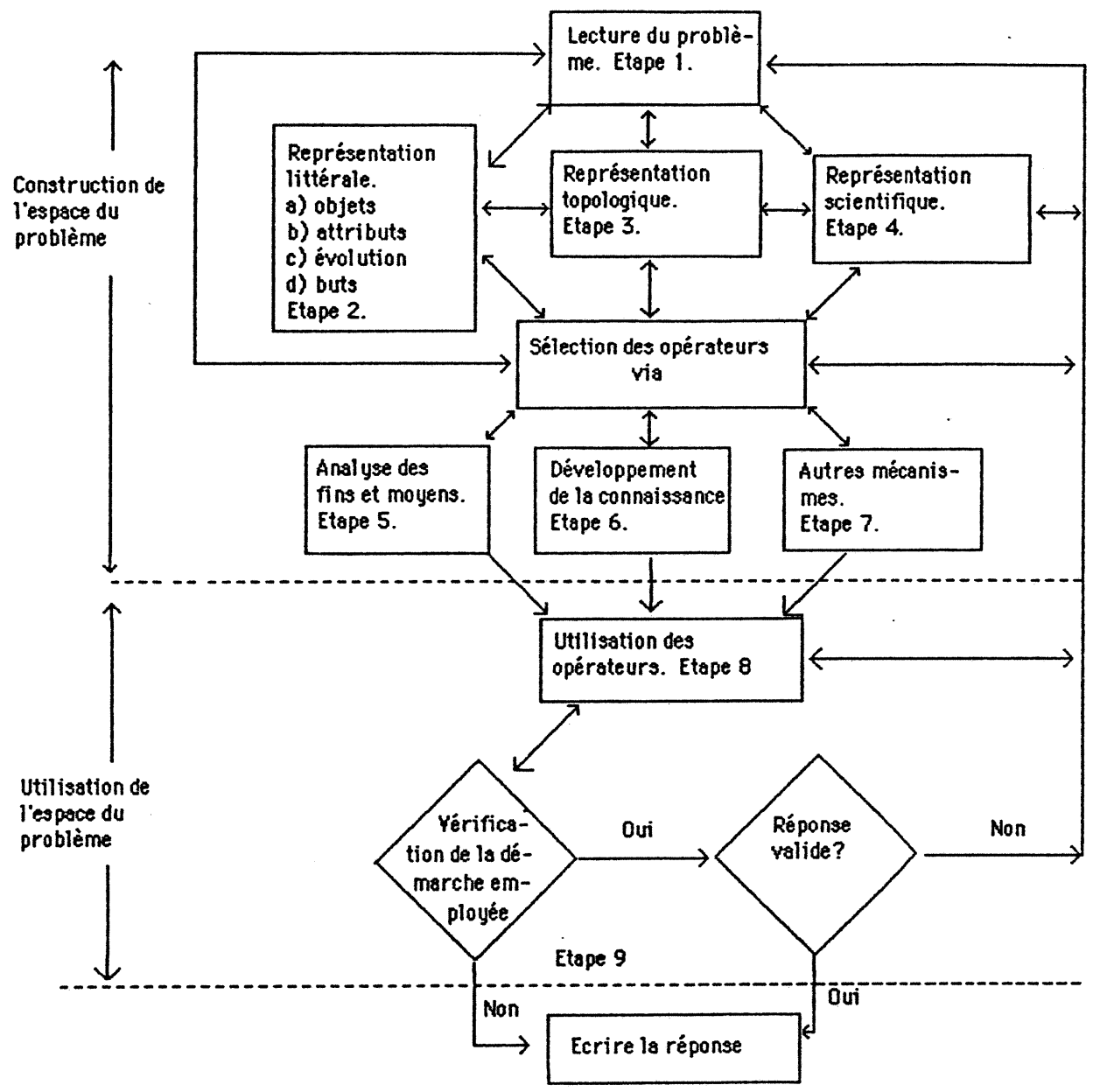


Fig. 7 Schéma de cheminements de solution d'un problème.

solution de problèmes de physique. Cette analyse devrait permettre de découvrir la façon qu'ont ces élèves d'aborder et de comprendre un problème, aussi d'identifier les processus défectueux reliés à une incapacité de solutionner un problème. Voyons le détail de chacune des neuf étapes et leur justification.

La première étape, Etape 1, est celle de la lecture du problème. L'élève prend connaissance du problème. Il identifie et définit les mots et les phrases clefs. Ceci suppose que l'élève possède une connaissance adéquate du langage utilisé dans le texte du problème. Cette première étape correspond au processus d'interprétation du langage utilisé dans les programmes "UNDERSTAND" et "ISAAC".

Cette étape terminée, l'élève a la possibilité de construire trois représentations du problème correspondant aux étapes 2, 3 et 4 du modèle. Il est aussi possible après chacune de ces étapes de passer directement à la sélection des opérateurs, étapes 5, 6 ou 7, ou encore de faire une relecture du problème, ou de réviser une représentation antérieure.

L'étape 2 consiste en une représentation littérale du problème. L'élève accumule de l'information formant une description non mathématique du problème. Les éléments suivants la composent:

- a) les objets inclus dans le problème;
- b) les attributs (caractéristiques) de ces objets;
- c) l'évolution de la situation dans le temps;
- d) les buts intermédiaires et/ou finals du problème.

Ces informations sont extraites des données du problème ou au besoin, inférer à partir de la situation décrite dans l'énoncé. On retrouve dans la description de cette étape, les éléments de la représentation littérale des programmes "ATWOOD" et "ISAAC" et ceux du processus d'"envisonnement" du programme "NEWTON".

L'étape 3 consiste en la construction d'une représentation topologique. On part des mêmes éléments qu'à l'étape 2, mais on les transcrit ici de façon symbolique sous forme de dessins. Cette représentation correspond à la représentation naïve du programme "ATWOOD" et à la représentation géométrique du programme "ISAAC".

La construction d'une représentation scientifique du problème vient à l'étape 4. L'élève fait alors appel à ses connaissances de base en physique reliées au problème, et réécrit de façon plus abstraite le contenu des représentations littérale et topologique en utilisant:

- a) des diagrammes vectoriels indiquant les mouvements ou les interactions des objets;
- b) des graphiques illustrant les relations entre les différentes variables (les attributs) des

objets.

Cette étape correspond à la représentation canonique du programme "ISAAC" et à la représentation scientifique du programme "ATWOOD".

Les étapes 5, 6 et 7 constituent l'ensemble des méthodes de sélection des opérateurs à partir desquels, un élève peut décider des formules qu'il projette d'utiliser pour résoudre le problème. L'étape 5 correspond à l'utilisation de l'analyse des fins et moyens. Cette méthode consiste à établir les différences entre l'information connue et celle désirée. Ces différences guident la sélection des opérateurs en vue d'obtenir de l'information nouvelle. Ce processus est ainsi répété jusqu'à l'obtention de l'information désirée. Cependant, l'élève peut choisir de procéder à l'inverse de l'analyse des fins et moyens en identifiant d'abord l'information connue et en sélectionnant ensuite des opérateurs qui permettent l'obtention d'informations nouvelles. Ce processus se répète jusqu'à l'obtention de l'information recherchée. Dans le présent modèle, cette méthode du développement de la connaissance constitue l'étape 6. Si l'élève procède d'une façon autre que les précédentes, sa procédure appartient à la catégorie "autres moyens" et correspond à l'étape 7. Les étapes 5 et 6 sont tirées des modèles de résolution de problèmes proposés par Larkin, McDermott, Simon et Simon (1980) et Simon et Simon (1978).

A l'étape 8, l'élève exécute les opérations mathématiques prévues par les opérateurs choisis. Au cours de cette opération, il a toujours la possibilité de revenir à une des étapes précédentes pour raffiner et corriger son "espace du problème", sa compréhension du problème.

L'étape 9 est celle des vérifications. Avant d'écrire la réponse finale, l'élève vérifie si les opérations de l'étape 8 ont été bien faites et si la réponse obtenue a du sens. Il a toujours la possibilité en cas de doute ou d'insatisfaction de refaire un nouveau cheminement de solution.

Ce modèle constitue un bon exemple du cheminement qu'emprunte un expert pour résoudre des problèmes de physique. Les recherches discutées antérieurement montrent clairement que l'expertise résulte de l'utilisation d'une série de représentations allant d'une représentation "naïve" à une représentation scientifique pour comprendre la situation décrite dans le problème et identifier les opérateurs qu'il entend utiliser à l'étape de la solution.

1.4 Résumé du chapitre

La présente recherche vise à identifier les difficultés rencontrées dans la solution de problèmes de physique chez des élèves de cinquième année du secondaire. En particulier, nous sommes intéressés par les questions suivantes: Comment ces élèves procèdent-ils pour résoudre

leurs problèmes une fois terminée la lecture du texte? Font-ils des dessins? Utilisent-ils des graphiques? Sur quelles informations ces élèves se basent-ils pour choisir leurs formules? Dans quel ordre sélectionnent-ils ces formules? Est-ce que des élèves classés "forts", "moyens" ou "faibles" solutionnent les problèmes de la même façon? Si non, qu'est-ce qui caractérise la démarche de chacun de ces groupes?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous avons, dans le présent chapitre, exposé les principaux éléments du cadre conceptuel de notre travail. Ces éléments sont empruntés à la théorie du traitement de l'information de Newell et Simon (1972). Selon cette théorie, la solution d'un problème est représentée sous forme d'interactions entre les données d'une situation problématique et la personne qui cherche à trouver la solution au problème posé. Ensuite, un examen a été fait de différents modèles de résolution de problèmes découlant de cette théorie. Finalement, un modèle synthèse de résolution de problèmes de physique a été construit à partir de l'examen de ces différents modèles et d'études empiriques sur la résolution de problèmes en physique. Il servira à l'examen du cheminement des élèves de secondaire cinq lors de leur résolution de problèmes de physique. Le chapitre suivant présente l'échantillon qui a servi à cette étude et les instruments et procédures utilisés pour la cueillette des données.

CHAPITRE II

LA METHODOLOGIE

La présente étude veut identifier les difficultés que rencontrent des élèves de cinquième secondaire pour résoudre des problèmes de physique. Un modèle de cheminement servira pour l'analyse de leurs comportements lors de cette activité.

Dans ce chapitre, nous décrirons d'abord la méthode d'investigation retenue pour analyser les comportements des élèves. Celle-ci consiste à faire réfléchir des élèves à haute voix, pendant qu'ils solutionnent leurs problèmes. Leurs verbalisations, une fois transcrites, constitueront les données qui serviront à analyser leurs comportements. Dans les sections 2.2 et 2.3, nous préciserons la manière dont s'est effectué la sélection des problèmes ayant servi à l'expérimentation. Dans la section 2.4, nous expliquerons comment nous avons choisi les élèves qui ont participé à l'expérience. Finalement, la dernière section décrira les procédures utilisées pour recueillir les verbalisations des élèves.

2.1 La méthode d'investigation

La présente étude vise l'identification des moyens employés par les élèves du niveau secondaire pour résoudre des problèmes de physique. Elle s'intéresse non seulement

aux produits de la solution, mais aussi aux mécanismes sous-jacents responsables de la bonne comme de la mauvaise performance des élèves. Elle devrait permettre d'identifier les mécanismes déficients et ceux qui distinguent les élèves forts des élèves faibles en physique. Pour atteindre ce but, les différentes recherches effectuées dans le domaine ont aidé à choisir la méthode d'investigation de la présente étude.

Des hypothèses sur les différents processus de solution employés peuvent être faites à partir d'analyses statistiques de réponses fournies par un grand nombre de personnes. Mais selon Larkin (1979,1980), l'identification et l'explication des processus utilisés pour accomplir une tâche complexe, comme résoudre des problèmes, est un objectif ambitieux et les analyses statistiques d'un grand nombre d'individus ne sont pas assez fines pour atteindre un tel objectif.

Une autre approche dans l'étude des processus de la résolution de problèmes serait d'inférer les processus utilisés par les élèves à partir de l'examen de leurs solutions écrites des problèmes. Cependant, cette méthode nous apparaît difficilement applicable, car dans la majorité des cas, les élèves n'indiquent pas explicitement toutes les étapes qui les amènent à cette solution. Souvent ces étapes de solution ne consistent qu'en une suite de calculs mathé-

matiques. Cette méthode ne nous permettrait pas d'atteindre les objectifs visés dans la présente recherche.

Il serait aussi possible d'investiger les processus employés en demandant aux gens immédiatement après qu'ils ont remis leurs problèmes, d'indiquer comment ils sont arrivés à leurs réponses. Selon Greenfield (1979), de telles analyses fournissent des indications sur les processus utilisés mais elles ont souvent le désavantage d'être réorganisées dans le compte rendu de façon à laisser croire que la personne est "efficace" dans la résolution de problèmes.

Enfin, une autre façon de rendre compte des moyens employés pour résoudre des problèmes consiste à demander aux sujets de penser "tout haut" pendant qu'ils solutionnent le problème et à enregistrer leur discours. Ce discours est ensuite transcrit et les données recueillies constituent un protocole. C'est à partir de ce protocole que se fera l'analyse de ce qui est dit, afin d'identifier les processus que les sujets ont employés pour résoudre les problèmes. Cette méthode offre selon Bloom et Broder (1950) une très bonne approximation des procédures employées par les gens durant l'exécution de la solution. Pour leur part, Newell et Simon soutiennent que l'analyse de protocoles est une technique typique de l'approche de la théorie de l'information pour l'étude de la résolution de problèmes parce qu'elle permet d'obtenir un taux élevé d'informations rela-

tives au comportement. Cette méthode donne, selon Lin (1979), un aperçu très élaboré des processus de pensée et retient les qualités humaines essentielles de l'information recherchée. Elle offre une fenêtre sur les "pourquoi" et les "comment" du comportement des sujets.

L'analyse de protocoles est utilisée dans de très nombreuses recherches portant sur divers aspects de la cognition humaine. Par exemple, Clément (1979) a employé cette technique pour décrire l'organisation des concepts de la physique chez des étudiants abordant pour la première fois l'étude de la mécanique. Anderson et autres (1981) ont analysé à l'aide de cette technique, les stratégies employées par des élèves du secondaire pour résoudre des problèmes de géométrie plane. Pour sa part, Clayton (1981) s'est servi de l'analyse de protocoles pour détecter les différences dans les comportements d'experts et de novices solutionnant des problèmes d'algèbre.

Dans beaucoup d'études sur la résolution de problèmes de physique employant la théorie de l'information comme cadre conceptuel, l'analyse de protocoles est le moyen privilégié pour investiger la nature des processus employés. Ainsi, les travaux de Bhaskar et Simon 1977; Larkin 1977a et 1977b; Larkin et al 1980; Luger 1981; Simon et Simon 1978 utilisent cette technique pour identifier les processus associés à la résolution de problèmes de cinématique, de mécanique et de thermodynamique.

Dans ce genre de recherche, on étudie généralement un nombre restreint d'individus placés dans un environnement bien contrôlé. Selon Larkin (1977,1981), il y a deux avantages à travailler de cette façon: le premier étant que la compréhension des processus employés par un nombre restreint d'individus volontaires et dûment choisis peut faciliter la compréhension subséquente de processus généraux utilisés par un plus grand nombre de gens. Le second avantage réside dans le fait que pour enseigner ces mécanismes, il n'est pas nécessaire de les observer chez beaucoup d'individus en autant que ces mécanismes soient utiles à tous les élèves.

Cette méthode d'investigation par analyse de protocoles présente des avantages certains. Elle a déjà été utilisée dans le domaine des sciences et assure une connaissance fiable et détaillée des comportements suivis par les élèves, ce qui facilite l'application de correctifs pour améliorer la performance des élèves. Ces raisons ont motivé la sélection de cette procédure pour la présente étude. Cette méthode d'investigation sera décrite en détail au chapitre suivant.

2.2 Le choix du domaine des problèmes à résoudre

Les problèmes qui seront utilisés pour cette investigation doivent répondre à certains critères de sélection pour assurer des informations valables sur les procédures de solutions utilisées par les élèves. Les problèmes doivent

avoir un contenu notionnel suffisamment simple, c'est-à-dire qu'ils doivent être organisés autour de principes peu nombreux et facilement identifiables, mais en même temps, ils doivent être suffisamment complexes pour que leur solution ne soit pas une simple application de routine des différentes formules appartenant au domaine du problème. Les problèmes choisis doivent être du même type que ceux rencontrés par les élèves durant leurs études. Enfin le niveau du langage utilisé doit être facilement compréhensible par des élèves du secondaire.

Les problèmes proposés seront pris dans le domaine de la cinématique et de la dynamique. Le choix de ces deux domaines repose sur les raisons suivantes: a) en physique, la cinématique et la dynamique constituent les éléments de base de la connaissance scientifique qu'une personne doit maîtriser si elle désire poursuivre plus avant l'étude de cette science; au Québec, dans la majorité des programmes de physique au secondaire, ces deux domaines constituent un enseignement obligatoire et font l'objet d'un examen provincial; b) dans la littérature sur la résolution de problèmes en physique, il existe des modèles qui illustrent des mécanismes efficaces pour résoudre de tels problèmes. Le modèle synthèse de la présente étude s'inspire précisément de ces divers modèles.

Une première sélection de problèmes de cinématique

et de dynamique a été effectuée en consultant divers volumes de physique à l'usage des élèves du secondaire, des examens ministériels administrés aux cours des dernières années, et en demandant à des enseignants de différentes commissions scolaires de nous soumettre les devoirs et examens qu'ils avaient donnés à leurs élèves de cinquième année du secondaire. Cette démarche nous a permis de retenir dans un premier temps, une banque de treize problèmes, sept de cinématique et six de dynamique, parmi lesquels nous aurions à choisir ceux qui serviraient à l'expérimentation. La liste de ces problèmes se trouve à l'Appendice A.

2.3 La sélection des problèmes pour l'expérimentation

Afin de s'assurer que les treize problèmes répondaient aux trois critères énumérés précédemment, la collaboration de juges a été sollicitée. On leur demandait d'indiquer si le niveau de langage de chaque problème était adéquat pour les élèves, si les problèmes étaient pertinents, c'est-à-dire représentaient un bon échantillonnage de ceux que les élèves ont à résoudre en classe, et si les problèmes étaient trop faciles ou trop difficiles. Pour répondre, les juges disposaient d'une grille. Pour le niveau de langage, ils indiquaient par un oui ou un non si celui-ci était adéquat. Ils pouvaient formuler les remarques qu'ils jugeaient nécessaires pour améliorer la qualité du langage. Pour déterminer la pertinence des problèmes, les juges disposaient d'une échelle de valeur allant de un à

dix, l'unité indiquant un problème très peu représentatif et le dix un problème très pertinent. Là encore, les juges avaient l'opportunité de faire des remarques pour rendre le problème le plus conforme possible à ceux familiers aux élèves. La même procédure était employée pour évaluer le niveau de difficulté. Si le juge encerclait le un, cela signifiait un problème très facile tandis que la cote dix caractérisait un problème très difficile pour le niveau secondaire.

Les juges ont été choisis parmi des pédagogues professionnels oeuvrant depuis au moins une quinzaine d'années dans différents milieux scolaires. Par ces caractéristiques, il était assuré que les personnes choisies possédaient une bonne connaissance des différents programmes de physique enseignés au Québec et des expériences reliées au milieu de l'enseignement secondaire. Cinq juges ont été retenus. Le premier a été coordonnateur provincial du comité de rédaction et de révision des examens ministériels de physique. Il enseigne la physique dans un établissement privé. Le second agit comme conseiller aux programmes de physique pour le ministère de l'Éducation et enseigne aussi dans une école privée. Le troisième juge travaille au secondaire public et est l'auteur de manuels de physique à l'usage des élèves du secondaire. Le quatrième a rédigé des examens provinciaux et enseigne dans une polyvalente. Finalement, le cinquième juge est membre du comité provincial de révision du contenu

des examens, consultant pédagogique auprès d'une maison d'édition de manuels scolaires en physique pour le secondaire et enseigne dans une école pour décrocheurs.

L'appréciation des juges est présentée au Tableau I. On y retrouve l'appréciation des juges pour chacun des critères sur chacun des problèmes.

En examinant le Tableau 1, on constate que les juges s'accordent sur le niveau de langage de tous les problèmes de cinématique mais divergent d'opinions pour les problèmes de dynamique D₂, D₃, D₄ et D₆. Pour certains juges, l'information donnée dans les problèmes D₂ et D₃ est trop abondante et l'énoncé du problème D₄ manque de précision.

Pour ce qui est de la pertinence, tous les problèmes de cinématique, sauf C₅, obtiennent un score supérieur à 40/50, ce qui tend à démontrer qu'ils représentent un bon échantillonnage du type de problèmes rencontrés au secondaire. Les juges trouvent que le problème C₅, avec une cote de 23/50, ne s'adresse qu'à une faible minorité d'élèves au secondaire. Quant aux problèmes de dynamique, leur pertinence semble moins grande puisque seulement deux problèmes D₁ et D₅ ont un score supérieur à 40/50. Deux autres D₂ et D₆ obtiennent une cote légèrement supérieure à 30/50. Pour ces deux problèmes, les juges sont très divisés sur leur pertinence.

TABLEAU I: EVALUATION DES PROBLEMES PAR LES JUGES

LE PROBLEME	LANGAGE (ADEQUAT OUI/NON)					PERTINENCE (MAXIMUM 10)					DIFFICULTE (MAXIMUM 10)					TOTAL	ACCEPTÉ	REJETÉ		
	JUGE I	JUGE II	JUGE III	JUGE IV	JUGE V	JUGE I	JUGE II	JUGE III	JUGE IV	JUGE V	JUGE I	JUGE II	JUGE III	JUGE IV	JUGE V					
	TOTAL					TOTAL					TOTAL									
C1	0	0	0	0	0	8	10	10	10	10	10	48	8	7	7	8	5	35		
C2	0	0	0	0	0	10	10	10	7	10	47	5	7	7	8	3	30			
C3	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	50	4	3	5	4	8	24			
C4	0	0	0	0	0	10	10	10	7	6	43	6	5	6	4	8	29			
C5	0	0	0	0	0	3	3	8	7	2	23	10	10	7	9	10	46		X	
C6	0	0	0	0	0	10	10	10	9	10	49	5	5	5	6	8	29		X	
C7	0	0	0	0	0	10	7	10	5	9	41	2	4	4	5	5	20		X	
D1	0	0	0	0	0	7	10	10	6	8	41	9	4	6	4	8	31		X	
D2	0	N	0	0	0	3	3	10	7	8	31	10	10	7	2	8	37		X	
D3	0	N	0	0	0	10	7	10	8	4	39	1	8	7	6	8	30		X	
D4	0	0	0	0	N	10	10	4	7	7	38	2	6	5	2	7	22			
D5	0	0	0	0	0	10	10	10	9	10	49	2	5	5	5	7	24			
D6	0	N	0	0	0	3	1	10	9	8	31	10	10	8	8	8	44		X	

C_i = Problème de cinématique numéro 1, 2 ... i
D_i = Problème de dynamique numéro 1, 2 ... i

Pour ce qui est du critère de difficulté, le problème C₅ obtient une note de 46/50, ce qui le classe comme très difficile. Par contre, le problème C₇ est considéré très facile et un juge le qualifie de simple application de formules. En dynamique, les problèmes D₂ et D₆ ont une cote respective de 37/50 et 44/50 ce qui en font des problèmes trop difficiles et peu exploités par les enseignants selon les remarques des juges.

De la liste des treize problèmes présentés aux juges, nous avons retiré les problèmes suivants: C₅ parce qu'il est peu pertinent et trop difficile; C₇, parce qu'il est trop facile; D₂ et D₆ parce que trop difficiles et peu rencontrés dans l'enseignement au secondaire. Il nous restait donc cinq problèmes de cinématique et quatre problèmes de dynamique.

Cette liste des neuf problèmes fut présentée aux enseignants qui ont accepté de collaborer à l'expérience. Ceux-ci ont recommandé d'éliminer les problèmes portant sur la dynamique parce qu'ils n'avaient pas encore eu le temps de compléter l'étude de ce module avec leurs élèves et que dans ce cas, la performance de ces derniers risquait de fausser les résultats de l'expérience. Il restait donc cinq problèmes de cinématique comme moyen d'évaluer les processus employés par les élèves et d'identifier les difficultés liées à l'utilisation de ces processus. Le fait

que les problèmes de dynamique n'aient pas été retenus pour la présente recherche, ne constitue pas une entrave sérieuse au but visé par celle-ci. Notre expérience dans l'enseignement de la physique nous enseigne que l'application des concepts de la cinématique posent déjà un sérieux défi aux élèves de cinquième secondaire. Nous croyons donc que les cinq problèmes de cinématique devraient nous permettre d'obtenir suffisamment d'informations pour mener à bien le présent travail.

Voici le texte de chacun des cinq problèmes retenus pour la présente étude.

C₁. Une voiture est immobile à un feu de circulation. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4,0 secondes. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir en accélérant pour rejoindre le camion?

C₂. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km. Un train quitte Montréal à 13h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h. Où et quand se croiseront-ils?

C₃. Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ kg, roule à 108 km/h. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante. A la fin d'un intervalle de temps de quatre (4) secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.

C₄. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement. De combien de mètres Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?

C₆. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4,0 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2,0 secondes. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné? Quelle est la vitesse de la balle 3,0 secondes après son départ du bas du plan?

Ces cinq problèmes ont une cote de pertinence allant de 43/50 (problème C₄) au maximum 50/50 (C₃). Nous pouvons présumer qu'ils représentent le type de problèmes utilisés dans l'étude de la cinématique au secondaire. Pour ce qui est du niveau de difficulté, le problème C₃ a obtenu une cote de 24/50 et le problème C₁ est considéré le "plus difficile" avec un score de 35/50. Ces problèmes semblent rencontrer très bien le critère de difficulté établi par les juges pour le niveau secondaire.

On peut classifier ces problèmes de cinématique en deux catégories: les problèmes à contexte unique et ceux à contexte multiple. Dans le premier cas, il n'y a qu'un seul objet et qu'un seul intervalle de temps auxquels s'appliquent les différents opérateurs. Les problèmes C₃ et C₆ appartiennent à cette catégorie. Dans chacun de ces problè-

mes, il s'agit de trouver le déplacement et/ou la vitesse d'un objet se déplaçant avec une accélération uniforme. Cependant pour le problème C₃, l'information concernant la grandeur des vitesses est donnée en km/h alors que la grandeur de l'intervalle de temps est indiquée en secondes.

Les problèmes à contexte multiple contiennent plusieurs objets ayant une ou des caractéristiques communes. Pour résoudre de tels problèmes, l'élève doit être en mesure d'identifier les différents contextes et ensuite trouver les éléments communs qui les relient. Les problèmes C₁, C₂ et C₄ sont des problèmes à contexte multiple. Dans le problème C₁, ce sont les déplacements et les intervalles de temps qui sont communs aux deux objets. Pour le problème C₂, le lien entre les deux contextes est l'intervalle de temps. Pour le problème C₄, c'est le déplacement des deux objets qui représente l'information commune aux deux objets.

Si la représentation des problèmes C₃ et C₆ peut être considérée comme "simple" en ce sens que la presque totalité de l'information nécessaire pour les résoudre est explicite dans le texte des problèmes, il n'en est pas de même pour les problèmes à contexte multiple C₁, C₂ et C₄.

Pour le déroulement de l'expérience, les autorités de la commission scolaire nous ont accordé une période de soixante-quinze minutes pour rencontrer chacun des élèves.

Après consultation avec les enseignants de ces élèves, nous avons jugé que cette période était plus que suffisante pour résoudre les cinq problèmes et permettrait même une reprise de certains problèmes si besoin était. Ces élèves travaillent depuis le début de leur secondaire avec un horaire quotidien comprenant quatre périodes de soixante-quinze minutes; leurs enseignants estimaient que ce temps représentait une période de travail qui leur est familière.

2.4 L'échantillon

Pour résoudre les problèmes sélectionnés, nous avons voulu faire appel à six élèves volontaires de secondaire V soit deux "forts", deux "moyens" et deux "faibles". La raison de ce choix est qu'en plus d'observer la façon dont des élèves travaillent sur des problèmes, nous voulions observer les différences et les similitudes dans le cheminement des élèves selon qu'ils étaient classés dans l'une ou l'autre de ces catégories.

Pour s'assurer que les six sujets avaient reçu un enseignement identique et qu'ils avaient été évalués selon les mêmes critères pour déterminer leur appartenance à une catégorie ou l'autre, il était d'une extrême importance que l'enseignement ait été donné par le même professeur.

Suite à de l'information émanant du ministère de l'Education, indiquant que des commissions scolaires du Québec expérimentaient un programme spécial mettant l'accent sur l'apprentissage de seulement trois modules, dont la cinématique et la dynamique, notre choix pour la sélection des six élèves s'est donc porté vers l'une d'entre elles. Il s'agit plus précisément de la Commission Scolaire Régionale Blainville-Deux-Montagnes, étant donné que celle-ci est située dans la grande région métropolitaine de Montréal.

Après avoir reçu l'accord des autorités compétentes, soit le conseiller pédagogique en sciences de la nature et les directeurs des deux polyvalentes où s'enseigne ce programme spécial, cinq enseignants de physique ont été contactés afin de leur soumettre le projet de cette étude et leur demander leur collaboration. Deux enseignants de la polyvalente Deux-Montagnes ont accepté de collaborer à la recherche en recrutant des élèves dans leurs groupes de physique. Après avoir rencontré leurs trois cents élèves, soit dans un cas six groupes de trente élèves et dans l'autre quatre groupes, chaque enseignant n'a pu trouver que quatre élèves qui se portaient volontaires pour l'expérience. Ceci ne respectait pas notre objectif premier qui était de recruter six élèves d'un même enseignant mais nous avons considéré qu'il était possible de poursuivre cette recherche en gardant les huit élèves parce que nous croyons que ces

deux groupes d'élèves étaient comparables dans leur classement, puisque leurs enseignants se consultaient fréquemment sur la façon de présenter la matière et qu'ils utilisaient souvent des examens communs pour évaluer leurs groupes. De plus, la répartition des élèves, trois élèves classés forts, deux moyens et trois faibles, correspondait d'assez près à un des objectifs qui était d'avoir deux élèves par catégorie.

Les élèves choisis sont identifiés par une série de quatre chiffres. Les deux premiers chiffres indiquent à quel enseignant les élèves appartiennent. Le troisième chiffre correspond au rang de l'entrevue pour les élèves d'un même enseignant. Le chiffre après le tiret est le rang cinquième de l'élève en physique au sommaire de ses quatre premiers bulletins. Ainsi, l'élève 501-1 est un élève du groupe de l'enseignant 1. Il fut le premier élève de cet enseignant à passer l'entrevue et il est classé au premier rang cinquième. Le Tableau II fournit la répartition des élèves par catégorie ainsi que leur appartenance aux enseignants 1 et 2.

Tableau II
REPARTITION DES ELEVES PAR ENSEIGNANT ET PAR CATEGORIES

<u>CATEGORIE</u>	<u>ENSEIGNANT 1</u>	<u>ENSEIGNANT 2</u>
Forts	501-1	602-1, 604-1
Moyens	503-4, 504-3	-
Faibles	502-5	601-5, 603-5

2.5 Le déroulement de l'expérience

L'expérience s'est déroulée durant deux jours consécutifs, à la fin du mois de mai 1986, dans un local de la polyvalente Deux-Montagnes spécialement aménagé. On retrouvait dans ce local une table de travail sur laquelle l'élève disposait d'une feuille contenant les diverses formules de la cinématique (voir Tableau IV) ainsi que des feuilles pour écrire. Sur une seconde table, un magnétophone avait été installé, de même que les cinq cartons à l'endos desquels se trouvaient les problèmes à résoudre. L'observateur faisait face à l'élève.

Chaque élève fut convoqué à tour de rôle pour la durée convenue de soixante-quinze minutes. Après avoir été accueilli par l'observateur dont le rôle consistait à lui expliquer le but et le fonctionnement de l'expérience et à l'encourager à réfléchir tout haut durant la solution des problèmes, l'expérience proprement dite pouvait débuter. Le texte lu par l'observateur à l'élève se trouve à l'appendice B. Il faut noter qu'aucun élève n'avait reçu un entraînement préalable pour participer à ce genre d'étude.

Une fois l'élève prêt, il choisissait au hasard un carton et lisait à haute voix le problème. Ensuite, il devait constamment indiquer de vive voix à l'observateur ce qu'il faisait et les raisons qui le motivaient à procéder de cette façon. Si au cours de la solution il y avait un trop

long silence, l'observateur intervenait pour demander à l'élève de lui dire ce à quoi il réfléchissait.

Une fois que l'élève avait obtenu une solution qu'il jugeait satisfaisante ou qu'il abandonnait un problème, il passait à un autre problème. Une fois tous les problèmes résolus et si le temps le permettait, l'élève pouvait revenir travailler sur ceux qu'il avait abandonnés. Dans le temps fixé, tous les élèves ont pu résoudre les cinq problèmes de cinématique.

2.6 Résumé du chapitre

Nous avons décrit dans ce chapitre la procédure retenue pour recueillir les données, la méthode de sélection des problèmes, la détermination de l'échantillon et le déroulement de l'expérience. La technique retenue est celle de l'analyse de protocoles qui consiste à enregistrer sur ruban magnétique les verbalisations des sujets pendant qu'ils solutionnent les problèmes. Les problèmes sélectionnés ont subi l'évaluation de cinq juges concernant leur niveau de langage, leur représentativité comme problèmes rencontrés dans les cours de physique au secondaire et leur contenu notionnel faisant ressortir les différentes stratégies qui peuvent être employées pour les résoudre. L'échantillon consistait en un groupe de huit élèves de cinquième année du secondaire, qui se sont tous portés volontaires pour la recherche. Les élèves se sont présentés à tour de

rôle pour l'enregistrement qui avait une durée maximale de soixante-quinze minutes. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter et analyser les données recueillies au cours de l'expérience.

CHAPITRE III

CUEILLETTE ET ANALYSE DES DONNEES

Dans le chapitre précédent, nous avons expliqué la façon de choisir les problèmes devant servir à l'expérience, la méthode de sélection des sujets qui seront appelés à solutionner les problèmes et les procédures de cueillette des informations lors de la séance de solution des problèmes.

Le présent chapitre analyse le comportement des élèves lors de la solution des problèmes pour en tirer des informations qui aideront à comprendre les forces et les faiblesses des démarches qu'ils entreprennent. Cette démarche sera morcelée en une suite de "microcomportements" à l'aide d'une grille d'analyse correspondant au modèle synthèse de solution présenté au chapitre un. Ces comportements seront illustrés au moyen d'un diagramme de comportement permettant de "visualiser" les déplacements des élèves dans leur espace du problème. Après étude des processus de solution utilisés pour chacun des problèmes, une première synthèse des comportements de chaque élève sera faite pour tous les problèmes solutionnés.

3.1 Transcription et numérotation des protocoles

La première activité consiste à transcrire l'enregistrement des verbalisations du processus employé par l'élève pour résoudre le problème. Ces verbalisations accompagnées des solutions écrites de l'élève et des remarques de l'observateur constituent un protocole.

Chacune des bandes sonores est écoutée attentivement pour en faire une première transcription textuelle. Chaque verbalisation du sujet et chaque remarque de l'observateur sont transcrites intégralement. Les périodes de silence, montrant selon Newell et Simon (1972) l'utilisation d'un espace du problème différent de celui du parlé et de l'écrit, sont indiquées par des points de suspension. Cette première transcription est analysée pour identifier si des verbalisations font montre de l'utilisation de plusieurs processus. Le cas échéant, celles-ci sont découpées en de plus petites verbalisations illustrant le recours à un seul processus. Seules les verbalisations non "pertinentes" à la solution du problème (ex.: Puis-je avoir d'autres feuilles?) sont éliminées de la transcription finale. Enfin, chacune des verbalisations retenues comporte un numéro dans le but d'en faciliter la référence lors de l'identification des étapes utilisées par l'élève pour résoudre les problèmes.

Un sujet, ayant abandonné la solution d'un problème, a demandé à la reprendre une fois les autres problèmes résolus. Cette reprise a été numérotée à la suite de la tentative initiale. On retrouvera à l'Appendice C la transcription finale des protocoles de chacun des élèves pour les cinq problèmes.

A l'aide de ces protocoles, un compte rendu détaillé sera fait du cheminement utilisé par l'élève pour obtenir

une solution au problème posé. Pour ce faire, une grille d'analyse est construite à partir du modèle de solution de problèmes élaboré au chapitre premier. Cette grille contient les différentes étapes susceptibles d'être utilisées par des élèves pour comprendre et résoudre des problèmes de physique. Ainsi, les étapes successivement utilisées par l'élève seront identifiées et jugées selon qu'elles sont correctes ou non. Pour compléter cette analyse, un diagramme synthèse des étapes par lesquelles est passé l'élève fera voir les retours de l'élève à une étape antérieurement utilisée, le nombre de fois où il a passé par une étape avec succès ou non et les étapes qu'il n'a pas utilisées pour arriver à solutionner son problème. C'est à partir de la grille des étapes et du diagramme de leur succession que seront étudiés les comportements des élèves en activité de solution de problèmes de physique pour en faire des synthèses et tirer des conclusions.

3.2 Grille d'analyse des processus de solution des problèmes

Le processus de solution d'un problème peut se représenter sous forme d'une série d'actions ou comportements identifiables séparément, menant à la construction d'une représentation du problème et à l'utilisation de celle-ci pour progresser vers une solution, en appliquant les opérateurs contenus dans cette représentation. Cette série d'actions sera classifiée en référence au modèle synthèse

élaboré au chapitre un. La compréhension du problème est associée à la construction d'une représentation qui peut être littérale, topologique ou scientifique. Elle inclut la méthode de sélection des opérateurs. La solution proprement dite du problème comprend l'étape de l'utilisation des opérateurs, de la vérification des opérations et de la production de la réponse. De plus, les étapes de construction des représentations littérale et scientifique ainsi que celle de la sélection des opérateurs sont constituées de plusieurs sous-étapes. Le Tableau III présente ces étapes et sous-étapes du modèle, et les symboles qui seront utilisés pour les identifier dans la grille d'analyse.

Tableau III

Liste des étapes et sous-étapes du modèle et leurs symboles

Etape du modèle	Sous-étape	Signification	Symboles utilisés dans la grille d'analyse
1	-	Lecture du problème	L.P.
2		Représentation littérale	
	2a	Représentation littérale des objets	R.L.a
	2b	Représentation littérale des attributs des objets	R.L.b
	2c	Représentation littérale du déroulement de la situation	R.L.c
	2d	Représentation littérale des buts intermédiaires et finals	R.L.d
3	-	Représentation topologique de la situation	R.T.
4	-	Représentation scientifique	
	4a	Représentation scientifique au moyen de vecteurs	R.S.a
	4b	Représentation scientifique au moyen de graphiques	R.S.b
5		Sélection des opérateurs via l'analyse des fins et moyens	S.O.a
6		Sélection des opérateurs par la méthode du développement de la connaissance	S.O.b
7		Sélection des opérateurs par d'autres méthodes	S.O.c
8		Utilisation des opérateurs sélectionnés	U.O.
9		Vérification des opérations	V.O.
		Réponse	Rep.
		Retours	Ret.

Pour faciliter l'analyse du comportement, une identification des opérateurs utilisés pour résoudre le problème a été ajoutée au modèle et sera utilisée dans la grille d'analyse. Ces opérateurs appartenant aux domaines de la mathématique et de la cinématique sont présentés avec la signification de leurs symboles dans le Tableau IV.

Tableau IV

Liste des opérateurs et de leur symbole

	<u>Symboles</u>
Opérateurs mathématiques	
Rapport, variation, etc.	K-0
Opérateurs de la cinématique	
$d = vt$	K-1
$d = v_I t + 1/2 at^2$	K-2
$a = (v_F - v_I)/t$	K-3
$v_F^2 = v_I^2 + 2ad$	K-4
$v_M = (v_0 + v_I)/2$	K-5
$d = v_M t$	K-6
Où: a = accélération	
d = déplacement (distance)	
v_I = vitesse initiale	
v_F = vitesse finale	
v_M = vitesse moyenne	
t = intervalle de temps	

La Figure 8 illustre la forme que prendra la grille d'analyse. En plus de l'enregistrement des étapes de solution avec l'indication de leur succès ou insuccès, on retrouve la référence aux items du protocole qui se rapporte à ces étapes.

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-8	S.O. c) autres		X
10-12	L.P.	*	
13	R.L. a) objets b) attributs	*	
14	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
22	Rép.	*	

Fig. 8 Illustration de la grille d'analyse.

3.3 Diagramme des étapes de solution

Pour ajouter à l'information obtenue sur le comportement par la grille d'analyse, on utilise un diagramme des étapes de solution, où est exposé de façon dynamique le comportement d'un élève durant la solution d'un problème. Cette technique ressemble à celle du "problem behavior graph" de Newell et Simon (1972). Elle permet de visualiser le cheminement suivi par l'élève pour construire l'espace du problème et ses passages d'une étape à une autre. La forme de ce diagramme est représentée à la Figure 9.

ELEVE 500-1										PROBLEME C ₁					
	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.D. a	S.D. b	S.D. c	U.O.	V.D.	REP.	RET.
	*	*	*		*				*		X				
	*		*	X				*	*			*	*		*
T*	4	1	2		1				2			2		1	
O				1							1				
TX															
A															
L	4	1	2	1	1				2		1	2		1	4

Fig. 9 Illustration du diagramme des étapes de solution.

On y retrouve l'identification de chacune des étapes et sous-étapes du modèle. La suite des étapes utilisées par un élève est enregistrée de gauche à droite; quand arrive un retour vers la droite à une étape précédente, utilisée ou non antérieurement, on descend d'une ligne. Ainsi, on peut facilement voir l'évolution de la solution. Les succès ou insuccès à une étape sont enregistrés à chaque étape. Il est possible de faire le comput des étapes utilisées, le nombre de fois où elles ont été utilisées et avec quel succès. Examinons maintenant le comportement des huit élèves au moyen de la grille d'analyse et du diagramme de comportement.

3.4 Utilisation des protocoles pour remplir la grille

Une fois terminée la division des protocoles en plusieurs unités, les grilles d'analyse ont été complétées,

identifiant les étapes du modèle en cause. Ce travail a été réalisé par l'auteur. Pour vérifier la fidélité de ce travail, un enseignant en physique, spécialisé en mesure et évaluation a été invité à remplir la grille d'analyse pour quatre problèmes résolus par quatre élèves différents. Ces seize grilles ont été comparées à celles remplies par l'auteur. Le Tableau V présente les grilles d'analyse de l'auteur et du juge pour le problème C₄ solutionné par l'élève 504-3. Comparons chacune des grilles pour expliquer les divergences entre l'analyse de l'auteur et celles du juge. Pour les cinq premières lignes du protocole, il y a des divergences entre l'auteur et le juge au niveau du regroupement des étapes et sur l'identification de certaines d'entre elles. Ces divergences nous semblent mineures et peuvent s'expliquer par le fait que l'auteur était en présence de l'élève lorsque ce dernier a solutionné le problème, ce qui n'a pas été le cas pour le juge. Ainsi, le juge a codifié les verbalisations 1 et 2 comme étant strictement des étapes de lecture L.P. alors que l'auteur a séparé ces verbalisations et y a ajouté les étapes R.L.a et R.L.b. La raison de cet ajout est que l'auteur a observé l'élève transcrire, à la fin de chacune de ses verbalisations, les informations contenues dans celles-ci. Dans cette même séquence de 1 à 5, le juge a codifié la verbalisation 3 comme étant R.L.c. L'auteur n'est pas d'accord avec cette interprétation, car il prétend que l'élève a tout simplement remplacé l'expression "le même événement" par sa valeur numéri-

TABLEAU Y

Comparaison entre le contenu de la grille d'analyse du juge et notre grille pour la solution du problème C₄ par l'élève 504-3.

GRILLE D'ANALYSE DE L'AUTEUR

NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1	L.P.	*	
	R.L. a) objets	*	
	R.L. b) attributs	*	
2-3	L.P.	*	
	R.L. a) objets	*	
	R.L. b) attributs	*	
4-5	L.P.	*	
	R.L. d) buts	*	
6-8	U.O. K-0	*	
9	S.O. K-1 b) dévelop. connaissances	*	
10-14	U.O. K-1	*	
15-17	U.O. K-0	*	
18-19	U.O. K-1		X

GRILLE D'ANALYSE DU JUGE

NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-2	L.P.	*	
3	R.L. c) déroulement	*	
4	L.P.	*	
5	R.L. d) but	*	
6-11	S.O. K-0 c) autres	*	
	U.O. K-0	*	
12	R.L. b) attributs	*	
	S.O. K-0 c) autres	*	
13-14	U.O. K-0	*	
15	R.L. d) but	*	
16	R.L. c) déroulement	*	
17-19	U.O. K-0		X

que indiquée dans le texte. Ici encore, il nous semble que cette différence dans l'interprétation de la verbalisation 3 est minime, puisqu'à ce stade du problème, l'élève sait que les deux nageurs ont parcouru une distance identique, mais dans des temps différents. Pour ces cinq premières lignes, l'auteur et le juge s'entendent pour dire qu'il y a alternance entre la lecture du problème et la construction d'une représentation littérale de la situation. Pour les verbalisations 6 à 14, la seule différence importante dans l'interprétation du protocole entre l'auteur et le juge porte sur l'identification de l'opérateur utilisé par l'élève pour calculer la vitesse des nageurs. Le juge identifie l'opérateur employé par l'élève comme étant K-0 (une règle de trois), alors que l'auteur assigne l'opérateur K-1 soit $d = vt$. Comme l'élève n'a pas explicitement dit lequel des opérateurs il choisissait pour trouver la vitesse, les interprétations de l'auteur et du juge ne se contredisent en rien, étant donné que pour trouver la vitesse moyenne des nageurs, l'utilisation de l'opérateur K-1 revient en pratique à faire une règle de trois.

Cette même technique d'interprétation du protocole se répète pour le reste du problème. On peut donc noter que pour l'ensemble du protocole, il n'y a pas de désaccords majeurs entre les deux analyses. Il en fut de même pour les trois autres problèmes. Les grilles remplies par l'auteur en interprétation des protocoles peuvent être considérées comme fiables pour la conduite de cette étude.

3.5 Analyse du comportement de chaque élève pour les cinq problèmes à l'aide de la grille et du diagramme

Pour chacun des huit élèves, la grille d'analyse et le diagramme de comportement sont présentés pour chacun des problèmes qu'ils ont résolus. De ces tableaux, nous extrairons les informations et les observations utiles à une compréhension des éléments caractéristiques du processus de résolution de problèmes de chacun de ces élèves.

3.5.1 Analyse du comportement de l'élève 501-1

3.5.1.1 Grille et diagramme pour le problème C₁

Tableau VI.1

Lecture du Tableau VI.1

Après avoir lu l'énoncé du problème (L.P.) C₁ une première fois, la première stratégie (S.O.c) de l'élève est d'essayer de retrouver dans ses notes un problème isomorphe à C₁. Devant l'échec d'une telle procédure, il retourne lire le problème une seconde fois avant de se construire une représentation littérale de la situation (R.L.). Il y parvient en extrayant du texte des informations explicites et en présentant celles-ci dans le langage symbolique particulier à la physique. Il obtient ainsi une liste comprenant les objets du problème (R.L.a), certains attributs de ces objets (R.L.b) et l'objectif final du problème (R.L.d). Il complète sa liste des variables connues en sélectionnant

TABLEAU VI.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-8	S.O. c) autres		X
10-12	L.P.	*	
13	R.L. a) objet b) attribut	*	
14	S.O. K-3 b) développement connaissances U.O. K-3	*	
15-17	Y.O.	*	
19-21	L.P.	*	
22	R.L. d) but	*	
23	R.L. b) attribut	*	
25	R.L. c) déroulement		X
26-30	L.P.	*	
31	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
32	S.O. K-4 a) fins et moyens	*	
33-45	U.O. K-4		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*					*	X	*	*		
	*		*	X					*	*		X		X	
T	4	1	2		1				2	1		1	1		
O				1							1	1		1	
A															
L	4	1	2	1	1				2	1	1	2	1	1	5

l'opérateur K-3. Après une troisième lecture, l'élève se représente la situation plus en détail en ayant recours à une représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c). Mais celle-ci est élaborée de façon incorrecte. L'élève se construit un problème différent de l'original. C'est ce nouveau problème qu'il solutionne en choisissant au moyen de l'analyse des fins et moyens (S.O.a) les opérateurs K-2 et K-4. L'utilisation de ces opérateurs (V.O.) étant incorrecte dans le cadre du problème original, la réponse fournie n'a pas été bonne.

3.5.1.2. Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau VI.2

Lecture du Tableau VI.2

La procédure employée pour résoudre le problème C₂ est similaire à celle utilisée dans le problème C₁. L'élève revient souvent consulter le texte du problème afin de se construire une représentation littérale de la situation qu'il présente sous la forme d'une liste (un tableau) contenant les deux objets du problème (R.L.a), leurs attributs explicites (R.L.b) et les variables désirées ou but du problème (R.L.d). À partir de cette représentation littérale, l'élève construit une représentation topologique (R.T.) qui lui permet de compléter la liste des variables connues des objets. À partir du contenu des représentations littérale et topologique, l'élève choisit l'opérateur K-1 au moyen de

TABLEAU VI. 2
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₂

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₂	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
6-9	L.P.	*	
10	R.L. d) le but	*	
11-14	L.P.	*	
16	R.L. d) le but	*	
17-21	R.L. a) les objets b) les attributs	*	
22-25	R.T.	*	
26-28	R.L. b) les attributs	*	
30	L.P.	*	
32	R.L. b) les attributs	*	
33-34	S.O. K-1 a) fins et moyens	*	
35-39	U.O. K-1		X
40-48	Y.O.		X
50-52	R.L. c) déroulement		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
*					*										
*					*										
*		*	*			*									
*			*	X				*				X	X	X	

TABLEAU VI.2 (suite)

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₂ - 2E ESSAI	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
55-57	L.P.	*	
58-68	S.O. c) autres		X
69-71	R.L. b) attributs	*	
72	R.L. d) but	*	
73-75	S.O. K-1 a) fins et moyens	*	
76-80	U.O. K-1		X
81-90	Y.O.	*	
91-93	U.O. K-1		X
94	Y.O.	*	
96-98	R.L. b) attributs		X
101	R.L. d) but	*	
102-103	R.L. c) déroulement		X
104	S.O. K-3 a) fins et moyens		X
107	R.L. d) but	*	
108-111	R.T.	*	
112-119	R.S. a) vecteurs	*	
120-133	U.O. de la représentation scientifique		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*		*		*				*		X	X	*		
			X		*				X			X	*		
				X	*	*	*					X		X	
T	5	1	4		5	2	1		2				2		
O															
X			1	2					1		1	4	1	2	
A															
L	5	1	5	2	5	2	1		3		1	4	3	2	12

l'analyse des fins et moyens (S.O.a) afin de répondre à la question "quand a lieu la rencontre des deux trains". L'opérateur est ensuite appliqué pour trouver le temps requis pour qu'un train se rende à destination. En manipulant l'opérateur, l'élève obtient une réponse tout à fait impossible à cause d'erreurs de calcul. Réalisant l'incongruité de la valeur de la réponse, il tente sans succès de retrouver son erreur (V.O.). N'étant pas satisfait de sa réponse, ni de sa démarche, l'élève essaie de visualiser plus en détail la situation en utilisant l'étape de la représentation littérale de la situation (R.L.c) mais sans succès. Tout ce qu'il a pu inférer, c'est que les trains ne se rencontreraient pas à mi-chemin vu que leur vitesse est différente. Le problème est abandonné après cette tentative de représentation littérale de la situation.

Dans une seconde tentative pour résoudre le problème C₂, l'élève, après avoir relu la donnée, essaie à nouveau de trouver dans ses notes, un problème semblable à C₂ (S.O.c) mais sans succès. Par la suite, son comportement se résume à combiner dans l'opérateur K-1 de l'information apparaissant dans sa liste des variables connues et désirées. Il a même eu recours à une représentation vectorielle pour tenter de répondre aux questions, mais là aussi c'est un échec.

3.5.1.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,

Tableau VI.3

TABLEAU VI.3

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
6-7	L.P.	*	
	R.L. b) attributs	*	
8-9	L.P.	*	
	R.L. b) attributs	*	
10-11	L.P.	*	
	R.L. b) attributs	*	
12-13	L.P.	*	
	R.L. b) attributs		X
14	R.L. d) but	*	
15-16	R.L. b) attributs	*	
17-21	R.L. b) attributs	*	
23	R.L. d) but	*	
24	S.O. K-4 a) fins et moyens	*	
25-26	U.O. K-4		X
27-28	S.O. K-3 a) fins et moyens	*	
29-30	U.O. K-3		X
31-34	U.O. K-4		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*		*												
	*		*												
	*		*		*										
	*		X		*										
			*		*			*				X			
			*					*				X			
			*									X		X	
T*	5		5		2				2						
O															
TX			1									3		1	
A															
L	5		6		2				2			3		1	8

Lecture du Tableau VI.3

La façon dont s'est pris l'élève 501-1 pour résoudre le problème C₃ est similaire à celle proposée dans le modèle "STUDENT". L'élève alterne entre la lecture du problème (L.P.) et la représentation littérale des attributs de l'objet du problème pour recueillir l'information pertinente et la transposer à l'aide de symboles physiques en un tableau contenant les variables connues et celles désirées. Ces dernières correspondent à la représentation littérale du but du problème (R.L.d). C'est à partir du contenu de cette représentation littérale qu'il sélectionne (S.O.a) correctement les opérateurs K-4 et K-3. A l'étape de l'utilisation des opérateurs (U.O.), l'élève remplace chacune des variables connues par leur valeur respective mais il omet de tenir compte des différentes unités décrivant la même variable temps ainsi que l'aspect vectoriel des grandeurs physiques. Ce sont ces deux erreurs qui l'empêchent d'obtenir la réponse correcte.

3.5.1.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,

Tableau VI.4

Lecture du Tableau VI.4

Le seul problème que cet élève a réussi est le problème C₄. Après avoir extrait du texte l'information jugée pertinente et présentée celle-ci sous une forme littérale (R.L.a, R.L.b, R.L.d) l'élève sélectionne les opérateurs K-0

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5	R.L. d) but	*	
6	L.P.	*	
7-9	R.L. a) objet b) attribut	*	
10-11	L.P.	*	
12-14	R.L. b) attribut	*	
15-16	R.L. d) but	*	
18	U.O. K-0	*	
19	Y.O.	*	
20	U.O. K-0	*	
24	R.L. b) attribut		X
25	S.O. K-1 b) développement connaissances U.O. K-1	*	X
30	S.O. K-1 b) développement connaissances	*	
31-32	U.O. K-1	*	
33-35	U.O. K-1		X
36-38	R.L. c) déroulement	*	
39-45	U.O. K-1	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*							*	*		
	*		*		*					*		*			
	*		X		*					*		X			
				*						*		X		*	
T *	3	1	2	1	2					2		4	1	1	
O															
T X			1									2			
A															
L	3	1	3	1	2					2		6	1	1	7

et K-1 afin d'obtenir de l'information supplémentaire (S.O.b) et ainsi augmenter le contenu de son espace initial du problème. C'est à partir de cet espace "enrichi" du problème et en utilisant la sous-étape de la représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) pour prédire l'information qui résultera de l'application de l'opérateur K-1 que l'élève atteint le but désiré.

3.5.1.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,

Tableau VI.5

Lecture du Tableau VI.5

La solution du problème C₆ comportant l'obtention de deux réponses est aussi un échec. Pour répondre à la première question, l'élève, après avoir rassemblé l'information explicite dans la donnée du problème (R.L.a, R.L.b, R.L.c) base sa stratégie de sélection de l'opérateur K-1 sur le contenu de cette représentation littérale. "Je cherche une formule qui s'applique à ça". Or, cette représentation étant incomplète, le choix de cet opérateur (S.O.a) n'est pas approprié dans le contexte du présent problème et la réponse obtenue n'est pas bonne.

Pour répondre à la seconde question, l'élève essaie de trouver une formule contenant les mêmes variables que celles apparaissant dans son tableau des variables connues. C'est durant la recherche d'un tel opérateur qu'il réalise

TABLEAU VI.5
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 501-1		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3	L.P.	*	
4-7	L.P.	*	
9	R.L. d) but	*	
12-13	R.L. b) attributs	*	
14	L.P.	*	
15	R.L. d) but	*	
17-19	S.O. K-1 a) fins et moyens		X
20	U.O. K-1	*	
21	R.L. d) but	*	
23-24	R.L. b) attributs		X
25	S.O. K-3 a) fins et moyens	*	
27	R.L. c) déroulement	*	
28	R.L. b) attributs	*	
29-36	U.O. K-3	*	
37	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
38	U.O. K-2		X
40	S.O. K-4 a) fins et moyens	*	
41-51	U.O. K-4		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*				*										
	*		*		*				X			*		X	
	*		X	*	*				*			*			
			*						*			X			
			*						*			X		X	
T *	3		2	1	3				3			2			
O															
T X			1						1			2		2	
A															
L	3		3	1	3				4			4		2	9

que la vitesse de l'objet varie avec le temps donc que l'objet accélère. Il choisit K-3 et détermine correctement la grandeur de cette accélération. Pour trouver la vitesse finale de l'objet (but de la seconde question), l'élève sélectionne l'opérateur K-2 en utilisant l'analyse des fins et moyens (S.O.a). Se rendant compte par inspection que cet opérateur est inapproprié dans la situation, il choisit un autre opérateur K-4. La réponse fournie par cet opérateur n'est pas bonne parce que l'élève a inféré que la valeur d'une des variables de K-4 est celle obtenue en répondant à la première question, ce qui est évidemment faux.

3.5.1.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

On peut résumer le comportement de l'élève 501-1 sur l'ensemble des cinq problèmes de la façon suivante: il lit le problème une première fois et essaie ensuite de trouver un problème isomorphe déjà résolu sur lequel il pourrait calquer la solution du présent problème. Si cette stratégie échoue, l'élève relit plusieurs fois le problème pour se construire une représentation littérale de la situation (R.L.). La plupart du temps, celle-ci consiste en un tableau des variables connues et désirées (R.L.b et R.L.d). L'élève élabore très peu sur le déroulement de la situation (R.L.c), particulièrement dans les problèmes à contexte multiple. A partir du tableau des variables, l'élève recourt à l'analyse des fins et moyens pour sélectionner les opéra-

teurs. La solution consiste à appliquer les opérateurs.

Cet élève, classé au premier rang cinquième, n'a réussi qu'un seul problème, C₄. Sa difficulté majeure se situe au niveau de la construction d'une représentation adéquate de la situation. Ceci est particulièrement vrai dans les problèmes C₁, C₂ et C₆ où en l'absence d'une description pertinente du comportement du (des) objet(s) du problème, l'élève, malgré un bon choix d'opérateurs, n'a pu les appliquer correctement, puisque sa conception de la situation est différente de celle décrite dans le problème. Par contre, c'est après avoir évalué l'utilisation de son opérateur au moyen d'une représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) qu'il obtient la bonne réponse au problème C₄.

3.5.2 Analyse du comportement de l'élève 502-5

3.5.2.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau VII.1

Lecture du Tableau VII.1

Dans le problème C₁, l'élève n'effectue que les deux premières sous-étapes de la représentation littérale de la situation soit celle de l'identification des objets (R.L.a) et de leurs attributs (R.L.b). Cette dernière est très incomplète car l'élève omet de l'information pertinente présentée sous forme explicite dans le texte du problème. C'est à partir du contenu incomplet de cette représentation littérale qu'il choisit au moyen de l'analyse des fins et moyens (S.O.a) l'unique opérateur K-1 qui lui servira à résoudre le problème. L'application de cet opérateur (U.O.) n'est pas bonne étant donné que la situation décrite par l'élève n'est pas compatible à celle requise pour résoudre correctement le problème.

3.5.2.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau VII.2

TABLEAU VII.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 502-5		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-8	R.L. a) objet b) attributs	*	X
9	S.O. K-1 a) fins et moyens	*	
10-11	U.O. K-1		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	X						*			X		X	
T*	1	1							1						
TX			1									1		1	
AL	1	1	1						1			1		1	0

TABLEAU VII.2
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₂

ELEVE 502-5		PROBLEME C ₂	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-8	R.L. a) objets b) attributs	*	
13	R.L. d) but	*	X
14	S.O. K-1 a) fins et moyens	*	
15-27	U.O. K-1		X
31-43	R.L. c) déroulement		X
	ABANDON		

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*	X	X				*			X		X	
														X	
T *	1	1	1						1						
T X				1	1							1		2	
A L	1	1	1	1	1				1			1		2	1

Lecture du Tableau VII.2

Après la lecture du problème C_2 , l'élève rassemble l'information sur les objets du problème (R.L.a) et leurs attributs (R.L.b) en se construisant un tableau contenant les diverses variables connues. L'étape suivante consiste à trouver une formule qui lui permettrait de répondre à la première des deux questions demandées. Il choisit K-1 (S.O.a) parce que selon son protocole, les autres formules contiennent des vitesses initiales, finales ou moyennes et dans le texte du problème on ne retrouve pas de telles informations. Il applique ensuite cet opérateur (U.O.) pour trouver le temps requis à chaque train pour se rendre à destination. La différence de ces temps indiquera le moment de la rencontre "parce qu'un train n'aura pas le même temps que l'autre étant donné leur vitesse différente". L'élève se dit incapable de trouver une façon de répondre à la seconde question bien qu'il ébauche une représentation partielle du comportement des objets (R.L.c) où il infère que la rencontre se fera plus près d'une ville que de l'autre parce que les trains ont des vitesses différentes.

3.5.2.3 Grille et diagramme pour le problème C_3 Tableau VII.3

TABLEAU VII.3
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 502-5		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P. R.L. b) attributs d) but	*	X
11 12-15	S.O. K-1 a) fins et moyens U.O. K-1	*	X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*		X		*				X			*		X	
T*	1				1							1			
TX			1						1					1	
AL	1		1		1				1			1		1	0

Lecture du Tableau VII.3

La solution du problème C_3 est aussi un échec. L'élève n'est pas en mesure de faire correctement la sous-étape de la représentation littérale des attributs de l'objet (R.L.b). Par exemple, il néglige complètement l'information contenue dans la phrase où il est question que la vitesse de l'auto est réduite de moitié. C'est avec une représentation littérale de la situation incomplète qu'il choisit l'opérateur K-1 qui ne s'applique pas dans ce problème.

3.5.2.4 Grille et diagramme pour le problème C_4 ,Tableau VII.4Lecture du Tableau VII.4

Pour résoudre le problème C_4 , l'élève passe directement de la lecture du problème (L.P.) à la sélection d'un opérateur en l'occurrence "la règle de trois". Il applique cette règle de façon incorrecte en trouvant la distance supplémentaire parcourue par le nageur le plus rapide durant l'intervalle de temps nécessaire au nageur le plus lent pour compléter son trajet.

3.5.2.5 Grille et diagramme pour le problème C_6 ,Tableau VII.5

TABLEAU VII.4
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 502-5		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3 6 7-11	L.P. S.O. c) autres U.O. autres	* *	X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
*											*	X		X	
T *	1										1				
O												1		1	
T X															
A															
L	1										1	1		1	0

TABLEAU VII.5
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 502-5		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3	L.P.	*	
4	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
7	R.L. d) but	*	
8-9	U.O. K-2		X
10	R.L. d) but	*	
11-13	U.O. K-2		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*				* *				*			X X		X X	
T *	1				2				1						
O												2		2	
X															
A															
L	1				2				1			2		2	2

Lecture du Tableau VII.5

Dans le problème C₆ comportant deux questions, l'élève après la lecture du problème (L.P.) s'assure du but visé par la première question (R.L.d) et sans rien écrire passe directement à la sélection d'un opérateur K-2 ayant comme variable dépendante celle mentionnée dans la question. Après inspection des variables indépendantes (v_I , t et a), il constate que la valeur de l'accélération (a) n'est pas connue. Il lui attribue donc une valeur particulière, celle de la gravité. Ensuite, il applique (U.O.) l'opérateur K-2 en ne tenant pas compte de l'aspect vectoriel des quantités physiques. Pour la seconde question, il revient avec le même opérateur mais son application est non pertinente dans ce cas.

3.5.2.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

Les protocoles de cet élève classé au dernier rang cinquième de son groupe sont très courts. Ils montrent que dès la lecture du problème terminée (L.P.), l'élève se construit une représentation littérale qui consiste en une liste de variables mentionnées explicitement dans le texte du problème. Cette représentation littérale des attributs des objets est très souvent incomplète car l'élève néglige de l'information explicite. L'élève n'a essayé qu'une seule fois et sans succès de visualiser le comportement des objets

décrits dans le texte du problème (R.L.c). C'est avec un espace du problème très partiel qu'il passe à la sélection des opérateurs (S.O.a) en se basant sur l'information contenue dans cet espace. Cette façon de procéder a deux conséquences. La première est que très souvent les opérateurs choisis ne sont pas pertinents à la situation décrite dans le problème. La seconde est que si les opérateurs sont bons, ils s'appliquent à une conception de la situation qui est différente de celle voulue dans le problème.

3.5.3 Analyse du comportement de l'élève 503-4

3.5.3.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau VIII.1

Lecture du Tableau VIII.1

Dans le problème C₁, cet élève a été capable d'extraire de la donnée du problème de l'information pertinente et de la représenter sous la forme d'une représentation littérale (R.L.) comprenant les objets du problème (R.L.a) et une liste de certains de leurs attributs mentionnés explicitement dans le texte (R.L.b). A l'aide de l'opérateur K-3, il calcule la valeur d'une variable dans cette liste. A partir de cette représentation littérale, il sélectionne (S.O.b) l'opérateur K-2 contenant la variable désirée comme variable dépendante et l'applique à un des objets du problème. C'est en utilisant cet opérateur (U.O.) qu'il réalise qu'il lui manque une variable indépendante et que par conséquent, à ce stade de la solution, il ne peut répondre à la question posée dans l'énoncé du problème. Il revient vers la représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) pour se faire une idée de la situation, mais ne peut "visualiser" correctement le comportement des objets. Le reste de la solution consiste à essayer d'appliquer le même opérateur K-2 en n'utilisant strictement que l'information contenue dans sa représentation littérale des attributs des objets.

TABLEAU VIII.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 503-4		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-9	R.L. a) objets	*	
	b) attributs	*	
10-11	S.O. K-3 b) développ. de connaissances	*	
12-14	U.O. K-3	*	
15-16	R.L. a) objets	*	
	b) attributs	*	
17-18	S.O. K-2 b) développ. de connaissances	*	
19-25	U.O. K-2		X
27-32	R.L. c) déroulement		X
34-55	U.O. K-2		X
56-61	R.L. b) attributs	*	
62	S.O. K-2 b) développ. de connaissances		X
63-64	U.O. K-2		X
65	R.L. d) but	*	
66-69	S.O. K-3 b) développ. de connaissances	*	
70-72	U.O. K-3	*	
73-74	S.O. K-2 b) développ. de connaissances	*	
75-76	U.O. K-2		X
77-98	Y.O.		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	* *	* *	X	*					* * X * *		* X X X *	X	X	
T *	1	2	3		1					4		2			
T X				1						1		4	1	1	
A															
L	1	2	3	1	1					5		6	1	1	5

3.5.3.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,
Tableau VIII.2

Lecture du Tableau VIII.2

Le problème C₂ est un succès. Après s'être construit une représentation littérale qui a pris la forme d'un tableau contenant les variables connues (R.L.b) et celles désirées (R.L.d), l'élève sélectionne un opérateur K-2 au moyen de l'analyse des fins et moyens (S.O.a). Le choix de cet opérateur ne repose pas uniquement sur le contenu de sa représentation littérale car il contient une variable qui n'apparaît pas ni dans le texte du problème ni dans le tableau. C'est à cause de la présence de cette nouvelle variable inconnue que l'élève se voit forcer de choisir une seconde formule K-3 pour trouver d'abord la valeur de cette nouvelle variable. C'est dans l'application de l'opérateur K-3 (U.O.) que l'élève réalise que la valeur de cette variable supplémentaire est nulle. Il procède ensuite à l'application de K-2 en y substituant l'information de son tableau mais constate que les réponses qu'il obtient ne répondent pas à l'une des questions posées. Suite à cette constatation, l'élève décide d'une autre "méthode" de solution. Il revient à la représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) pour décrire correctement la dynamique du comportement des objets. Une fois cette étape réalisée, il réapplique l'opérateur K-2 modifié et découvre qu'il a fait des erreurs de calculs en obtenant des réponses

TABLEAU VIII.2
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₂

ELEVE 503-4		PROBLEME C ₂	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-10	R.L. a) objet	*	
	b) attribut	*	
11-12	R.L. d) but	*	
13	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
14-15	S.O. K-3 a) fins et moyens	*	
16-18	U.O. K-3	*	
19-28	U.O. K-2		X
29-35	R.L. c) déroulement	*	
36-39	U.O. K-2	*	
40-41	R.L. d) but	*	
42	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
43	U.O. K-2		X
44	Y.O.	*	
48-56	U.O. K-2		X
57	Y.O.	*	
58-61	U.O. K-2	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*				*			*			
				*	*				*			X		*	
												X	*		
												X	*		
												*		*	
T	*	1	1	1	2				3			3	2	2	
O												3			
T	X														
A															
L		1	1	1	2				3			6	2	2	6

qui n'ont pas de "bons sens". En appliquant systématiquement l'étape de la vérification des opérations (V.O.), il découvre ses erreurs, les corrige et obtient les bonnes réponses aux deux questions.

3.5.3.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,

Tableau VIII.3

Lecture du Tableau VIII.3

Le problème C₃ est aussi un succès. A partir de la lecture du problème (L.P.), l'élève se construit un tableau contenant les attributs de l'objet (R.L.b) et le but du problème (R.L.d). Suite à l'identification de la variable désirée, il choisit les opérateurs K-2 et K-3 et les applique (U.O.) sans commettre d'erreurs.

3.5.3.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,

Tableau VIII.4

Lecture du Tableau VIII.4

Dans le problème C₄, l'élève a choisi d'utiliser la règle de trois (S.O.a) pour résoudre le problème. Bien que celle-ci soit adéquate pour ce problème, son application (U.O.) est ici incorrecte et la réponse obtenue n'est pas bonne.

TABLEAU VIII.3
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 503-4		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-15	R.L. a) objet b) attributs d) but	*	
18	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
19	S.O. K-3 a) fins et moyens	*	
20-26	U.O. K-3	*	
27-32	U.O. K-2	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*				*	*		*	*	*	
T*	1	1	1		1				2			2		1	
O															
X															
A															
L	1	1	1		1				2			2		1	2

TABLEAU VIII.4
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 503-4		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3 4-9	L.P. R.L. a) objets b) attributs d) but	*	
10 11-19	U.D. c) autres moyens	*	X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*						*	X		X	
T *	1	1	1		1						1				
T X												1		1	
A L	1	1	1		1						1	1		1	0

3.5.3.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,
Tableau VIII.5

Lecture du Tableau VIII.5

Le problème C₆ comporte deux questions distinctes. Le Tableau VIII.5 montre qu'avant de choisir les bons opérateurs K-2 et K-3 pour répondre à la première question, l'élève utilise adéquatement toutes les sous-étapes de la représentation littérale ainsi que la représentation topologique. Il commet une erreur dans l'utilisation de l'opérateur K-2 mais il peut racheter celle-ci en prenant soin de révérifier ses calculs (V.O.).

Cet élève a de la difficulté à répondre à la seconde question. Son diagramme de comportement illustré dans le Tableau VIII.5 montre une alternance entre la représentation littérale du déroulement de la situation, la représentation topologique et l'utilisation des opérateurs avant d'en arriver à produire une réponse qui soit satisfaisante. Il obtient celle-ci en utilisant pour la seconde fois dans ce problème l'étape de la vérification des opérations (V.O.) pour corriger des erreurs dans l'utilisation de l'opérateur K-3.

TABLEAU VIII.5
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 503-4		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-3	L.P.	*	
4-5	R.L. a) objet et b) attribut	*	
6	R.T.	*	
7-8	R.L. b) attributs	*	
9-10	c) déroulement	*	
11-12	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
13	S.O. K-3 a) fins et moyens	*	
14-19	U.O. K-3	*	
20-23	U.O. K-2		X
24-27	Y.O.	*	
28-34	U.O. K-3	*	
34-41	U.O. K-2	*	
2e partie			
43-49	R.L. c) déroulement	*	
50	S.O. opérateur impossible		X
51-52	U.O. opérateur impossible		X
53	R.T.	*	
54-57	R.L. c) déroulement	*	
58-59	S.O. K-2 a) fins et moyens	*	
60	U.O. K-2		X
63-68	R.T.	*	
69-76	U.O. de R.T.		X
77	R.L. d) but	*	
82-86	R.L. b) attribut		X
87-90	R.L. c) déroulement	*	
91	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
94	U.O. K-3		X
95-100	Y.O.	*	
101-106	U.O. K-3	*	

TABLEAU VIII.5 (suite)

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	* *	*		*			* *			* X * * X	*		*
			X	*	*	*		X *		*		X X X *	*	*	
T*	1	1	2	4	1	3			3	1		4	2	2	
TX			1						1			5			
AL	1	1	3	4	1	3			4	1		9	2	2	12

3.5.3.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble
des problèmes

L'élève 503-4 classé au quatrième rang cinquième dans son groupe de physique réussit à résoudre correctement trois des cinq problèmes. Pour construire son espace du problème, l'élève passe par toutes les étapes de la représentation littérale pour se faire une idée de la situation. Sa sélection d'opérateurs, basée sur le contenu de sa représentation littérale, est généralement efficace. La difficulté majeure que rencontre cet élève est dans l'utilisation des opérateurs. Il fait beaucoup d'erreurs mathématiques mais sa façon méthodique de vérifier ses opérations lui permet de corriger ses erreurs dans deux des cinq problèmes.

3.5.4 Analyse du comportement de l'élève 504-3

3.5.4.1 Grille et diagramme pour le problème C₁, Tableau IX.1

Lecture du Tableau IX.1

Pour solutionner le problème C₁, l'élève construit un tableau identifiant les objets du problème (R.L.a), leurs attributs (R.L.b) et l'objectif à atteindre (R.L.d). C'est sur la base de ce contenu qu'il sélectionne l'opérateur K-3 pour augmenter son information. Ensuite, il choisit l'opérateur K-2 pour trouver la variable dépendante (le but visé). Cependant l'application de l'opérateur K-2 est incorrecte puisque l'élève l'applique à une situation différente de celle requise par le problème.

3.5.4.2 Grille et diagramme pour le problème C₂, Tableau IX.2

Lecture du Tableau IX.2

Pour se représenter le problème C₂, l'élève utilise la représentation littérale des attributs des objets (R.L.b) et celle du but du problème (R.L.d). Il obtient ainsi une liste des variables connues et désirées. Il transforme cette représentation littérale en représentation topologique (R.T.). La sélection de l'opérateur K-1 (S.O.a) suit la construction de la représentation topologique. L'é-

TABLEAU IX.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 504-3		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3	L.P. R.L. a) objet b) attribut	*	
4-5	L.P. R.L. a) objet b) attribut	*	
6-7	L.P. R.L. d) but	*	
8	L.P.	*	
10	R.L. d) but intermédiaire	*	
11	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
12	U.O. K-3	*	
14-16	R.L. d) but	*	
17	S.O. K-2 b) dévelop. connaissances	*	
18-20	U.O. K-2		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*												
	*	*	*		*					*		*			
	*	*	*		*					*		X		X	
T*	4	2	2		3					2		1			
T X												1		1	
A L	4	2	2		3					2		2		1	4

lève applique successivement l'opérateur K-1 à chacun des objets du problème. L'élève réalise que cette procédure est incorrecte dans le contexte du présent problème et ne sachant pas quoi faire, il abandonne la solution.

3.5.4.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,

Tableau IX.3

Lecture du Tableau IX.3

L'élève lit une première fois le problème. Ensuite, en relisant ligne par ligne, il extrait l'information qu'il juge pertinente pour la solution du problème et consigne cette information dans un tableau. Il sélectionne ensuite l'opérateur K-3 pour trouver la valeur de la variable accélération. L'utilisation de cet opérateur est un échec parce que l'élève ne tient pas compte que l'unité de temps est donnée en secondes alors que celles de la vitesse sont en km/h. Pour trouver la variable désirée (la distance), l'élève choisit l'opérateur K-2 qu'il applique correctement mais comme la valeur de la variable accélération est fautive, il s'ensuit que la valeur de cette distance est incorrecte.

3.5.4.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,

Tableau IX.4

TABLEAU IX.3
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 504-3		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
	R.L. b) attribut	*	
5-6	L.P.	*	
	R.L. d) but	*	
7-8	L.P.	*	
	R.L. b) attribut	*	
12-15	L.P.	*	
16	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
17-19	U.O. K-3		X
20-31	S.O. K-2 b) dévelop. connaissance	*	
	U.O. K-2	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	* * * *		* *		*					**		X *		X	
T *	4		2		1					2		1			
O												1		1	
T X															
A															
L	4		2		1					2		2		1	4

TABLEAU IX.4

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 504-3		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1	L.P. R.L. a) objet b) attribut	*	
2-3	L.P. R.L. a) objet b) attribut	*	
4-5	L.P. R.L. a) but	*	
6-8	U.O. K-0	*	
9	S.O. K-1 b) développ. connaissances	*	
12-14	U.O. K-1	*	
15	U.O. K-0	*	
17	U.O. K-0	*	
18-19	U.O. K-1		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*												
	*	*	*		*					*		*	*	*	
	*											X		X	
TOTAL	3	2	2		1					1		4			
												1		1	
TOTAL	3	2	2		1					1		5		1	6

Lecture du Tableau IX.4

Dans le problème C₄, l'élève commence par rassembler en un tableau l'information au sujet des attributs des objets (R.L.b). Ensuite, à l'aide d'un opérateur arithmétique, il modifie le contenu de cette information pour la rendre plus facilement utilisable. Son choix de l'opérateur K-1 lui permet d'augmenter la teneur de l'information contenue dans sa représentation littérale de la situation (R.L.). L'épisode de la solution consiste à utiliser les opérateurs K-0 et K-1 pour combiner de l'information du tableau et produire une réponse incorrecte.

3.5.4.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,Tableau IX.5Lecture du Tableau IX.5

Le seul problème que l'élève 504-3 a réussi est C₆. Après la lecture du problème, il utilise la représentation topologique (R.T.) et les sous-étapes de la représentation littérale des attributs des objets (R.L.b) et du but du problème (R.L.d) pour se construire une liste des variables connues et désirées. Sur la base du contenu de cette liste, il choisit un premier opérateur K-1 mais réalise que ce dernier est inapplicable en s'imaginant le comportement de l'objet (R.L.c). Il refait donc une nouvelle sélection (S.O.b) d'opérateurs appropriés à sa conception de la situation pour obtenir les réponses correctes aux deux questions demandées.

3.5.4.6 Remarque sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

Pour se représenter la situation décrite dans les problèmes, cet élève utilise la plupart du temps la sous-étape de la représentation littérale des attributs des objets (R.L.b) et celle du but à atteindre dans le problème (R.L.d). La sélection des opérateurs (S.O.) repose essentiellement sur le contenu de cette représentation littérale des attributs et est généralement bonne, seulement deux échecs en douze sélections. C'est au niveau de l'application des opérateurs (U.O.) que l'élève rencontre ses difficultés. Celles-ci résultent de l'application non pertinente de ces opérateurs en regard de la situation décrite dans le problème.

3.5.5 Analyse du comportement de l'élève 601-5

3.5.5.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau X.1

Lecture du Tableau X.1

Dans le problème C₁, l'élève rassemble sous la forme d'une liste, l'information textuelle au sujet des attributs des objets (R.L.a et R.L.b). Il choisit ensuite les opérateurs K-3 et K-2 en fonction des éléments contenus dans sa représentation littérale. Pour répondre à la question du problème, il introduit dans l'opérateur K-2 des informations appartenant à l'un et à l'autre objet et effectue le calcul. Sa représentation de la situation n'étant pas bonne, l'utilisation de l'opérateur K-2 est non pertinente.

3.5.5.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau X.2

Lecture du Tableau X.2

Pour résoudre le problème C₂, l'élève commence par se faire un dessin de la situation (R.T.). Il abandonne cette procédure pour se construire un tableau des attributs des objets (R.L.b). La construction de son espace du problème se termine par la sélection de l'opérateur K-1 (S.O.a). Sa solution consiste à appliquer cet opérateur à chacun des objets du problème pour répondre à la première

TABLEAU X.1

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 601-5		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-7	R.L. a) objets b) attribut	*	
8	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	X
11	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
12-13	U.O. K-3	*	
14-16	U.O. K-2		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	X							*		*			
										*		X		X	
T*	1	1								2		1			
O															
X			1									1		1	
A															
L	1	1	1							2		2		1	2

question, ce qui ne correspond en rien à la question demandée. Quant à la deuxième question, il fait une hypothèse sur la valeur de la réponse sans avoir fait aucun calcul.

3.5.5.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,

Tableau X.3

Lecture du Tableau X.3

L'élève n'a pas été en mesure de construire une représentation littérale correcte des attributs de l'objet du problème (R.L.b) C₃. C'est à partir de cette information qu'il choisit un opérateur (S.O.a) non pertinent dans ce problème. Même dans l'application de K-1, l'élève commet une erreur mathématique.

3.5.5.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,

Tableau X.4

Lecture du Tableau X.4

Le problème C₄ est le seul qu'a réussi l'élève. Après la lecture du texte (L.P.), l'élève choisit de résoudre ce problème en utilisant le "produit croisé" (la règle de trois). Cette procédure est appliquée correctement dans le présent contexte.

TABLEAU X.3

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 601-5		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5	R.L. a) objet	*	
6-11	R.L. b) attributs		X
12	R.L. d) but	*	
14	S.O. K-1 a) fins et moyens		X
15	U.O. K-1		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	X		*				X			X		X	
T*	1	1			1										
TX			1						1			1		1	
AL	1	1	1		1				1			1		1	0

TABLEAU X.4
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 601-5		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3 4 5-12	L.P. S.O. c) autres U.O. de K-0	* * *	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*										*	*		*	
T*	1										1	1		1	
O															
X															
A															
L	1										1	1		1	0

3.5.5.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,
Tableau X.5

Lecture du Tableau X.5

La seule chose que l'élève réussit dans le problème C₆ est l'identification des deux variables désirées qui constituaient le but du problème. Son protocole est très difficile à analyser car il contient beaucoup d'incohérences.

3.5.5.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble
des problèmes

En résumé, cet élève appartenant au dernier rang cinquième de son groupe a des difficultés dès la construction de la représentation littérale de la situation. Il ignore beaucoup d'informations explicitées dans le texte du problème au sujet des attributs des objets (R.L.b). Dans aucun des cinq problèmes, il n'utilise la représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) pour décrire le comportement des objets. Il en résulte que l'application des opérateurs (U.O.) n'a été pertinente qu'en deux occasions sur l'ensemble des cinq problèmes.

TABLEAU X.5

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 601-5		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3	L.P.		X
4-5	R.L. b) attribut d) but	*	X
6	S.O. K-1 a) fins et moyens		X
7-8	U.O. K-1		X
9-10	R.L. b) attribut		X
11-17	U.O. K-1		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	X		X X		*				X			X X		X X	
T *					1										
T X	1		2						1			2		2	
A L	1		2		1				1			2		2	1

3.5.6 Analyse du comportement de l'élève 602-1

3.5.6.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau XI.1

Lecture du Tableau XI.1

Dans le problème C₁, l'élève commence par rassembler l'information explicite au sujet des attributs des objets du problème (R.L.b) et des buts recherchés (R.L.d). A partir de son tableau des données, il sélectionne l'opérateur K-3 (S.O.b) qui lui permet d'ajouter une nouvelle variable à sa liste. Ensuite, il applique à chaque objet du problème les opérateurs K-2 et K-1 qui l'amènent à utiliser la représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) pour décrire correctement le comportement des objets. Suite à cet "envisonnement" de la situation, il applique à nouveau les mêmes opérateurs K-1 et K-2 mais à la situation voulue par le problème. Cet élève réussit à résoudre correctement ce problème.

3.5.6.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau XI.2

Lecture du Tableau XI.2

L'élève obtient aussi du succès avec le problème C₂. Après avoir construit son tableau des valeurs des objets (R.L.b), il visualise le comportement des deux objets

TABLEAU XI.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 602-1		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-10	R.L. a) objets b) attributs d) but	*	
11-12	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
13	U.O. K-3	*	
14-15	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
16-17	U.O. K-2	*	
18	S.O. K-1 b) développ. connaissances U.O. K-1	*	
19	S.O. K-0 b) développ. connaissances	*	
21	R.L. d) but intermédiaire	*	
22-23	R.L. b) attribut c) déroulement	*	
25	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
26	S.O. K-1 b) développ. connaissances	*	
27	R.L. c) déroulement	*	
28-37	U.O. K-1 et K-2	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*					*		*			
					*					*		*			
			*	*						*					
				*						*		*		*	
T*	1	1	2	2	2					6		4		1	
O															
X															
A															
L	1	1	2	2	2					6		4		1	7

TABLEAU XI.2

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₂

ELEVE 602-1		PROBLEME C ₂	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4 5-11	L.P. R.L. a) objets b) attributs d) but	*	
12-14 15	R.L. c) déroulement S.O. K-1 b) dévelop. connaissances	*	
16-22	U.O. K-1	*	
23-25	U.O. K-1	*	
26	V.O.	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*	*	*					*		*	*	*	
T O T A L	1	1	1	1	1					1		2	1	2	2

(R.L.c) et à partir de sa représentation littérale, il choisit l'opérateur K-1 qu'il applique de façon très méthodique au comportement des deux objets.

3.5.6.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,
Tableau XI.3

Lecture du Tableau XI.3

La solution du problème C₃ est incorrecte parce que dans un premier temps, l'élève commet une erreur dans les transformations des variables apparaissant dans l'opérateur K-3 en ne tenant pas compte des différentes grandeurs de la variable temps. Dans un second temps, il sélectionne (de mémoire) un opérateur qui n'existe pas en cinématique. Ces deux erreurs sont responsables de la mauvaise réponse.

3.5.6.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,
Tableau XI.4

Lecture du Tableau XI.4

Pour résoudre le problème C₄, l'élève commence d'abord par ajouter de l'information nouvelle au contenu de la représentation littérale des attributs du problème (R.L.b) en utilisant l'opérateur K-1. La solution du problème n'est pas bonne parce que l'élève fait une fausse inférence quant à l'information que produira l'emploi de l'opérateur K-1 sur cette nouvelle information.

TABLEAU XI.3
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 602-1		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4 5-9	L.P. R.L. a) objet b) attribut d) but	* * * *	
10	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
11-13	U.O. K-3		X
14	S.O. non admissible b) dévelop. connaiss.		X
15	U.O.	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*					* X		X *		X	
T*	1	1	1		1					1		1			
O										1		1		1	
TX										1		1		1	
A										2		2		1	
L	1	1	1		1					2		2		1	1

TABLEAU XI.4

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₄

ELEVE 602-1		PROBLEME C ₄	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-3	L.P., R.L.a, R.L.b	*	
4	S.O. K-1 b) développ. connaissances	*	
5-11	U.O. K-1	*	
12	S.O. K-0 b) développ. connaissances	*	
	U.O. K-0	*	
13-14	U.O. K-1		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*							**		** X		X	
T*	1	1	1							2		2			
O												1		1	
X															
A															
L	1	1	1							2		3		1	2

3.5.6.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,

Tableau XI.5

TABLEAU XI.5
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 602-1		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-3	L.P.	*	
4-6	R.L. a) objet	*	
	b) attributs	*	
	d) but	*	
7-8	R.L. c) déroulement	*	
10-11	S.O. K-3 b) développement connaissances	*	
12-13	U.O. K-3	*	
14	S.O. K-2 b) développement connaissances	*	
15-17	U.O. K-2		X
19-20	R.L. c) déroulement	*	
22-25	R.L. b) attribut		X
26-27	R.T.		X
28	R.L. b) attribut	*	
29	R.L. b) attribut		X
30-32	R.L. b) attribut	*	
33-35	R.L. b) attribut		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	Y.O.	REP.	RET.
	*	*	*	*	*					*		*		X	
			X	*		X				*		X			
			X	*										X	
			X	*											
			X	*											
T*	1	1	3	2	1					2		1			
TX			3			1						1		2	
AL	1	1	6	2	1	1				2		2		2	8

Lecture du Tableau XI.5

Le problème C₆ n'est pas réussi. D'abord, l'élève commet une erreur mathématique dans l'utilisation de l'opérateur K-2 entraînant ainsi une mauvaise réponse à la première question. Dans la seconde partie de la solution, l'élève commence par se représenter de façon dynamique le mouvement de l'objet (R.L.c). A partir de cette représentation, il fait une fausse hypothèse quant à la valeur d'un des attributs de l'objet (R.L.b). Il essaie d'utiliser la représentation topologique (R.T.) pour trouver la valeur de cette variable mais sans succès. Le reste de la solution consiste à émettre des hypothèses sur la valeur de la variable désirée mais cette démarche s'avère inutile.

3.5.6.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

Cet élève classé au premier rang cinquième réussit les problèmes C₁ et C₂ après avoir utilisé toutes les étapes de la représentation littérale de la situation (R.L.). Dans les autres problèmes, les insuccès sont dus soit à des erreurs mathématiques, c'est le cas du problème C₃ pour l'utilisation de l'opérateur K-3 et du problème C₆ avec l'opérateur K-1, soit à une application non pertinente de l'opérateur K-2 pour le problème C₄.

3.5.7 Analyse du comportement de l'élève 603-5

3.5.7.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau XII.1

Lecture du Tableau XII.1

Pour se représenter le problème C₁, l'élève n'utilise que les sous-étapes de la représentation littérale des objets (R.L.a) et de leurs attributs (R.L.b). Cette dernière est très incomplète. Ensuite, il passe à la sélection des opérateurs K-3 et K-2. Ce dernier est appliqué à une situation différente de celle demandée dans la question du problème.

3.5.7.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau XII.2

Lecture du Tableau XII.2

L'élève abandonne la solution du problème C₂ après avoir fait la liste des attributs des objets (R.L.b).

3.5.7.3 Grille et diagramme pour le problème C₃,

Tableau XII.3

Lecture du Tableau XII.3

L'élève ne réussit pas le problème C₃. Le Tableau XII.3 indique, qu'après la lecture du problème, l'élève em-

TABLEAU XII.1

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 603-5		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-9	R.L. a) objet b) attributs	*	X
19	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
20-22	U.O. K-3	*	
23	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
24-26	U.O. K-2		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	X							*		*		X	
T *	1	1								2		1			
T X			1									1		1	
A															
L	1	1	1							2		2		1	1

TABLEAU XII.3
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 603-5		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-8	R.L. b) attributs		X
11	R.L. b) attributs	*	
12	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
13-16	U.O. K-3		X
17	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
18	U.O. K-2		X
19	V.O.	*	
20-23	U.O. K-0	*	
24-25	S.O. K-1 b) développ. connaissances		X
26	U.O. K-1	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*		X *							* *		X X *	*		
										X		*		X	
T *	1		1							2		2	1		
T X			1							1		2		1	
A L	1		2							3		4	1	1	4

ploie la représentation littérale des attributs des objets. Suite à la construction de sa liste de variables, il sélectionne les opérateurs K-3 et K-2 qu'il applique de façon incorrecte en ne tenant pas compte des grandeurs des différentes unités et de l'aspect vectoriel des quantités physiques. Après l'application de ces opérateurs, il est insatisfait de sa réponse. Il choisit l'opérateur K-1 qui est non pertinent dans ce problème et décide de l'appliquer.

3.5.7.4 Grille et diagramme pour le problème C₄,

Tableau XII.4

Lecture du Tableau XII.4

Dans le problème C₄ l'élève, après avoir fait la liste des variables décrivant le comportement des deux objets (R.L.a, R.L.b), recourt à l'opérateur K-1 pour augmenter le contenu de sa liste. Ensuite, il revient choisir un opérateur non pertinent K-5. L'information obtenue par l'application de K-5 est ensuite transférée dans les opérateurs K-1 et K-0 pour produire une réponse incorrecte.

3.5.7.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,

Tableau XII.5

Lecture du Tableau XII.5

Pour répondre à la première question posée dans le problème C₆, l'élève choisit un opérateur, K-1, qui ne s'ap-

plique pas à la situation présente. Dans le cas de la seconde question, sa première décision est de trouver un opérateur K-3 contenant la variable mentionnée dans cette question. Constatant que dans l'opérateur K-3 il manque une variable indépendante, l'élève choisit un autre opérateur K-2 qui lui permet de trouver la valeur de cette variable indépendante. Il revient appliquer K-3 mais fait une erreur en ne respectant pas l'aspect vectoriel des quantités physiques de K-3.

3.5.7.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

Cet élève a échoué tous les problèmes. Il n'utilise que des étapes de la représentation littérale à l'exception de la représentation littérale du déroulement de la situation. Il a des difficultés à identifier correctement les attributs des objets dans les problèmes (R.L.b). A cette sous-étape, on retrouve trois échecs en sept utilisations. La sélection des opérateurs (S.O.) et leur utilisation (U.O.) sont très souvent mal exécutées.

3.5.8 Analyse du comportement de l'élève 604-1

3.5.8.1 Grille et diagramme pour le problème C₁,

Tableau XIII.1

Lecture du Tableau XIII.1

Cet élève réussit le problème C₁. Pour y parvenir, l'élève se construit un tableau contenant les différents attributs des objets (R.L.b) mentionnés dans le problème. A l'aide des opérateurs K-3 et K-1, l'élève ajoute de l'information supplémentaire à ce tableau. L'étape suivante consiste à décrire le comportement des deux objets. Une fois cette représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) construite, l'élève utilise correctement les opérateurs K-1 et K-2 pour obtenir la bonne réponse.

3.5.8.2 Grille et diagramme pour le problème C₂,

Tableau XIII.2

Lecture du Tableau XIII.2

La solution du problème C₂ est très originale. L'élève utilise une représentation topologique (R.T.) pour générer de l'information au sujet du comportement des deux objets (R.L.c). Une fois cette information acquise, l'élève applique les opérateurs K-0 et K-1 pour répondre aux deux questions dans l'ordre où elles sont posées.

TABLEAU XIII.1
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₁

ELEVE 604-1		PROBLEME C ₁	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
	R.L. a) objets	*	
	b) attributs	*	
6-7	S.O. K-3 b) dévelop. connaissances	*	
8-9	U.O. K-3	*	
10-11	R.L. a) objets	*	
	b) attributs	*	
12	R.L. d) buts intermédiaires	*	
14	S.O. K-1 b) dévelop. connaissances	*	
15	U.O. K-1	*	
16	R.L. c) déroulement		X
17	R.L. b) attribut	*	
18	R.L. d) buts intermédiaires	*	
20-22	R.L. c) déroulement	*	
23	S.O. K-1 b) dévelop. connaissances	*	
24-25	S.O. K-2 b) dévelop. connaissances	*	
26-27	U.O. K-1 et K-2	*	
28	R.L. b) attribut	*	
29-37	U.O. K-1 et K-2	*	
39-43	U.O. K-2	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*					*		*			
		*	*	X	*					*		*			
			*	*	*					*		*		*	
			*							*		*			
T *	1	2	4	1	2					4		5		1	
T X				1											
A L	1	2	4	2	2					4		5		1	7

TABLEAU XIII.2

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₂

ELEVE 604-1		PROBLEME C ₂	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5	R.L.		X
6	U.O. K-1		X
11	S.O. K-0 b) dévelop. connaissances	*	
12-13	R.L. a) objets	*	
	b) attributs	*	
14	U.O. K-0	*	
15	R.L. c) déroulement	*	
16	R.L. b) attribut		X
17	R.T.	*	
18-23	R.L. c) déroulement	*	
24-28	U.O. de R.T.	*	
31	R.L. d) but	*	
32	S.O. K-1 b) dévelop. connaissances	*	
33-35	U.O. K-1	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*				X					*		X			
		*	*	*		*						*			
			X	*						*		*		*	*
T*	1	1	1	2	1	1				2		3		2	
O															
T X			1		1							1			
A															
L	1	1	2	2	2	1				2		4		2	6

3.5.8.3 Grille et diagramme pour le problème C₃

Tableau XIII.3

TABLEAU XIII.3

GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₃

ELEVE 604-1		PROBLEME C ₃	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCES *	ECHEC X
1-4	L.P.	*	
5-6	R.L. b) attributs	*	
7	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
8	U.O. K-3	*	
9	S.O. K-2 b) développ. connaissances	*	
10-16	U.O. K-2		X

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*		*							*		*		X	
T *	1		1							2		1			
O												1		1	
T X															
A															
L	1		1							2		2		1	1

Lecture du Tableau XIII.3

Après la lecture du problème, l'élève se construit d'abord un tableau contenant les différentes valeurs (de l'objet) mentionnées explicitement dans le texte. Ensuite, il "traduit" l'expression "la vitesse de l'auto est réduite de moitié" sous une forme quantitative. A partir de cette information "augmentée", il introduit une nouvelle variable (la variable vitesse) qui complète la construction de son tableau. Sur la base de l'information contenue dans ce dernier, il sélectionne un premier opérateur (K-3) lui permettant d'obtenir de l'information supplémentaire (l'accélération) à partir de celle déjà existante. Il combine cette information nouvelle à celle accumulée précédemment pour choisir un second opérateur (K-2) n'ayant qu'une seule variable dépendante (variable inconnue). Cette variable correspond à celle mentionnée dans la question du problème. Il solutionne cette équation et si sa réponse n'est pas bonne, c'est à cause d'une erreur de signe dans l'utilisation de l'opérateur.

3.5.8.4 Grille et diagramme pour le problème C₄Tableau XIII.4Lecture du Tableau XIII.4

Après une lecture correcte du problème (L.P.), l'élève se fixe comme premier objectif (intermédiaire) d'augmenter son information sur le comportement des objets

du problème (trouver la vitesse des nageurs). Pour atteindre cet objectif, l'élève réunit l'information présentée explicitement dans un tableau (R.L.a, R.L.b) et transforme certains éléments de cette information sous une forme qu'il juge plus commode (U.O. de K-0). Avec cette information, il procède vers le but intermédiaire en choisissant et en utilisant correctement l'opérateur K-1. C'est dans une seconde application de l'opérateur K-1 que l'élève commet une erreur en remplaçant la variable vitesse dans cet opérateur par la variable variation de vitesse.

3.5.8.5 Grille et diagramme pour le problème C₆,

Tableau XIII.5

Lecture du Tableau XIII.5

Suite à une lecture sans difficulté du texte du problème (R.L.), l'élève décide de répondre à la première question. Pour ce faire, il recueille l'information pertinente explicite dans la donnée de ce problème et transpose cette information sous forme d'un tableau (R.L.a, R.L.b). Sur la base du contenu de ce tableau, il choisit et applique l'opérateur K-3 pour augmenter l'information au sujet du comportement de l'objet. Pour atteindre le but fixé, l'élève choisit un mauvais opérateur, mais une faute dans l'application de cet opérateur lui permet d'obtenir une bonne réponse à cette question. Pour répondre à la seconde question, l'élève "traduit" l'expression "3 secondes après son

TABLEAU XIII.5
GRILLE ET DIAGRAMME DE COMPORTEMENT POUR LE PROBLEME C₆

ELEVE 604-1		PROBLEME C ₆	
NO DE REF. DANS LE PROTOCOLE	ETAPES DE LA SOLUTION	SUCCESS *	ECHEC X
1-3	L.P.	*	
4	R.L. d) but	*	
5-6	R.L. a) objet b) attributs	*	
7-8	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
9	U.O. K-3	*	
10	S.O. K-2 b) développ. connaissances		X
11-12	U.O. K-2		X
13-15	R.L. b) attributs	*	
16	R.L. d) but	*	
17	S.O. K-3 b) développ. connaissances	*	
18-21	U.O. K-3	*	

	L.P.	R.L. a	R.L. b	R.L. c	R.L. d	R.T.	R.S. a	R.S. b	S.O. a	S.O. b	S.O. c	U.O.	V.O.	REP.	RET.
	*	*	*		*					*		*		*	
			*		*					X		X		*	
			*		*					*		*		*	
T*	1	1	2		2					2		2		2	
O															
T X										1		1			
A															
L	1	1	2		2					3		3		2	3

départ du bas du plan" par une seconde après son arrêt en haut du plan. Par la suite, il choisit et applique à nouveau et ce correctement l'opérateur K-3.

3.5.8.6 Remarques sur le comportement pour l'ensemble des problèmes

Cet élève obtient cinq bonnes réponses sur sept en incluant celle obtenue par chance dans le problème C₆. Sa sélection d'opérateurs (S.O.) est très efficace parce que sa représentation du problème est généralement adéquate. Il arrive également à appliquer correctement les opérateurs choisis.

3.6 Résumé du chapitre

Dans le présent chapitre, nous avons décrit la façon de numéroter les protocoles, le contenu de la grille d'analyse utilisée pour identifier les comportements ainsi que la forme du diagramme illustrant ces comportements. A l'aide de cette grille et du diagramme, nous venons de faire l'analyse du comportement de chacun des élèves pour les cinq problèmes. Dans le chapitre suivant, nous allons comparer le comportement des élèves pour chacun des problèmes afin de faire ressortir les difficultés rencontrées par les élèves selon qu'ils sont classés forts, moyens ou faibles et selon qu'ils ont réussi ou non le problème.

CHAPITRE IV

LES RESULTATS

Le but de la présente étude étant d'identifier les difficultés reliées à la résolution de problèmes de physique au niveau de la cinquième année du secondaire, nous allons dans ce chapitre, comparer les cheminements des élèves qui ont réussi ou échoué la solution des problèmes afin d'y déceler les comportements reliés à la réussite ou à l'échec.

Une seconde synthèse examinera les comportements des élèves reconnus comme "forts" par rapport à ceux des élèves reconnus comme "moyens" et "faibles" en physique, pour observer si chaque groupe privilégie un cheminement particulier tant au niveau de la construction d'une représentation du problème que de la sélection des opérateurs et si les difficultés rencontrées durant la solution d'un problème sont les mêmes pour chacune des catégories d'élèves.

4.1 Analyse comparée des cheminements des élèves selon qu'ils ont réussi ou échoué chacun des problèmes

Dans cette section, une description du contenu de chacun des problèmes est présentée, suivie d'une comparaison entre les cheminements employés par les élèves pour résoudre les problèmes. Cette comparaison devrait permettre de faire ressortir les comportements caractéristiques d'une bonne ou d'une mauvaise procédure de solution.

Un diagramme, pour chacun des problèmes, regroupera la suite des comportements de solution selon que le problème a été réussi ou non. Ce diagramme détaillera les étapes et sous-étapes par lesquelles un élève est passé pour solutionner le problème et le nombre de fois où il a utilisé celles-ci, avec ou sans succès. Ces diagrammes permettent une lecture des différences entre les procédures de solutions employées quand le problème est réussi ou échoué.

4.1.1 Les succès et les échecs au problème C₁

Le problème C₁ appartient à la catégorie des problèmes à contexte multiple. Dans ce problème, il est question d'un camion en mouvement uniforme et d'une auto initialement au repos. A l'instant initial t_0 , les deux véhicules se trouvent côte à côte. Par la suite, ils se déplacent sur des trajectoires parallèles, l'auto en accélérant et le camion en gardant sa vitesse uniforme. Le texte spécifie la grandeur de la vitesse du camion ainsi que le temps requis par l'auto pour rouler à la même vitesse que le camion. La question demande de trouver la distance que devra franchir l'auto afin de rejoindre le camion.

Le cheminement suivi par les élèves pour résoudre ce problème se trouve illustré dans le tableau XIV. A l'examen de ce tableau, nous constatons que seulement deux élèves ont réussi à résoudre le problème correctement. La raison du succès de ces deux élèves provient du fait qu'ils sont les

seuls à avoir énoncé que pour un intervalle de temps donné, qui sera le même pour l'auto et le camion, les deux véhicules effectueront un déplacement identique. Cette procédure correspond à la construction d'une représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) dans le modèle synthèse. L'emploi de cette représentation leur a permis d'inférer les caractéristiques communes aux comportements des deux véhicules et d'utiliser ces dites caractéristiques pour construire une représentation mathématique de la situation ayant la forme suivante: $d_1 = d_2$ où d_1 et d_2 représentent les déplacements de l'auto et du camion, et $t_1 = t_2$ l'intervalle de temps nécessaire à chaque véhicule pour se rencontrer à nouveau. Pour évaluer la valeur de d_1 , d_2 et t , ces élèves ont choisi les opérateurs $a = (v_f - v_i)/t$ (K-3), $d_1 = 1/2 at^2$ (K-2) et $d_2 = vt$ (K-1) sur la base des informations mentionnant que l'auto accélère et que le camion roule à vitesse constante. Une première équation $1/2 at^2 = vt$ leur a permis de trouver le moment de la rencontre t . Ensuite, la valeur de la variable est substituée dans K-1 ou K-2.

TABLEAU XIV

DIAGRAMME DES ETAPES UTILISEES PAR LES ELEVES
 QUI ONT REUSSI ET QUI ONT ECHOUÉ AU PROBLEME C₁

ETAPES DE SOLUTION	PROBLEMES REUSSIS		PROBLEMES NON REUSSIS					
	ELEVE 602-1	ELEVE 604-1	ELEVE 501-1	ELEVE 503-4	ELEVE 504-3	ELEVE 502-5	ELEVE 601-5	ELEVE 603-5
	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL	X TOTAL
L.P.	1	1	4	1	4	1	1	1
R.L.a	1	2	1	2	2	1	1	1
R.L.b	2	4	2	3	2	1	1	1
R.L.c	2	1	1	1	3			
R.L.d	2	2	1	1	3			
R.T.								
R.S.a								
R.S.b								
S.O.a	6	4	2	4	2	1	2	2
S.O.b			1	1				
S.O.c	4	5	1	2	1	1	1	1
U.O.			1	1				
V.O.	1	1	1	1	1	1	1	1
Rep.			1	1	1	1	1	1
Ret.	7	7	5	5	4	4	2	2

Dans le cas des élèves qui ont échoué au problème, on constate qu'aucun n'est parvenu à prédire que l'auto et le camion se déplaceront sur une distance identique dans un même intervalle de temps. La seule conclusion erronée à laquelle sont parvenus certains élèves est que l'auto aura rejoint le camion lorsque la vitesse des deux véhicules sera identique. Cette interprétation de la situation a conduit les élèves à ignorer le mouvement du camion et à ne sélectionner que des opérateurs décrivant le mouvement de l'auto. La sélection de ces opérateurs K-2 et K-3 a été faite, comme dans le cas des élèves qui ont réussi, sur la base de l'information mentionnant que l'auto accélère. Un seul élève 502-5 a utilisé l'opérateur $d = vt$ (K-1) pour calculer le déplacement de l'auto. Dans son protocole, il justifie la raison de son choix en disant que dans le texte du problème, il n'est pas fait mention ni de vitesse finale, ni de vitesse initiale, ni de vitesse moyenne, ce qui élimine les opérateurs $d = v_1 t + 1/2 at^2$, $v_f^2 = v_0^2 + 2ad$ et $d = v_m t$.

En conclusion, la différence entre le succès et l'échec au problème C₁, réside au niveau de la construction de la représentation du problème. Les élèves qui ont réussi ont été les seuls à pouvoir identifier les caractéristiques communes aux deux objets du problème.

4.1.2 Les succès et les échecs au problème C₂

Le problème C₂, dont la cote de difficulté se situe à 30/50, est aussi un problème à contexte multiple. Le texte du problème décrit le mouvement de deux trains qui partent simultanément de Montréal et Toronto pour se diriger vers la ville opposée en roulant à vitesse constante. La grandeur de la vitesse des trains et la distance entre les deux villes sont mentionnées dans le texte. On demande à l'élève de trouver l'endroit et le moment où les trains se croiseront.

Le tableau XV indique les étapes du modèle synthèse que les élèves ont suivies pour résoudre ce problème. Trois élèves ont répondu correctement aux deux questions posées. Ces trois élèves ont été capables de visualiser que dans un même intervalle de temps, chaque train accomplira un trajet différent à cause de leur vitesse différente et que la somme de ces trajets équivaudra à la distance entre les deux villes. Ce sont ces trois inférences qui ont permis à ces élèves de construire l'équation $d_1 + d_2 = d_t$ où d_1 et d_2 représentent la distance respective des trains pour un intervalle de temps t , et d_t est la distance entre les deux villes. Pour évaluer la valeur de d_1 et d_2 , les élèves 503-4 et 602-1 ont choisi l'approche mathématique en sélectionnant l'opérateur $d = vt$. L'application de celui-ci leur a permis de trouver en premier lieu le moment de la rencontre et ensuite l'endroit. Il nous faut mentionner ici que l'élève

503-4 s'est trompé dans l'utilisation de l'opérateur $d = vt$ à cause de mauvaises transformations dans les unités des variables de la distance et de la vitesse. Cependant, il a réalisé que ses réponses n'avaient pas de sens en regard de l'information présentée dans le texte du problème. Il est retourné vérifier ses opérations pour découvrir la cause de ses erreurs. Cette procédure, associée à la vérification des opérations (V.O.) lui a permis de réussir le problème C₂.

TABLEAU XV

DIAGRAMME DES ETAPES UTILISEES PAR LES ELEVES
 QUI ONT REUSSI ET QUI ONT ECHOUÉ AU PROBLEME C2

ETAPES DE SOLUTION	PROBLEMES REUSSIS			PROBLEMES NON REUSSIS					
	ELEVE 503-4	ELEVE 602-1	ELEVE 604-1	ELEVE 501-1	ELEVE 504-3	ELEVE 502-5	ELEVE 601-5	ELEVE 603-5	
	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	* TOTAL X TOTAL	
L.P.	1	1	1	5	2	1	1	1	
R.L.a	1	1	1	1		1	1	1	
R.L.b	1	1	1	4	1	1	1	1	
R.L.c	1	1	2	2		1			
R.L.d	2	1	1	5	2	1	1	ABANDON	
R.T.			1	2	1		1		
R.S.a				1					
R.S.b				2					
S.O.a	3			3	1	1	1		
S.O.b		1		1					
S.O.c	3	2		4	2	1	3		
U.O.	2	1		1					
V.O.	2	2		3	1	2	2	2	
Rep.	2	2		2	2	2	2	2	
Ret.	6	2	6	12	2	1	3	2	

Le comportement de l'élève 604-1 diffère quelque peu des deux autres élèves qui ont réussi à résoudre le problème. Sa procédure repose sur l'hypothèse voulant "qu'on peut faire le rapport des vitesses" v_1/v_2 pour trouver l'endroit où les trains se croiseront. Selon sa propre expression, ce rapport veut dire que "pendant que le train qui part de Toronto parcourt trois unités, celui de Montréal parcourt quatre unités". A partir de cette représentation littérale du comportement des trains, l'élève s'est construit un dessin (deux voies ferrées) à l'aide duquel il est parvenu à déterminer que la distance totale, d_t , valait sept unités de longueur et que le lieu de la rencontre serait égal au $4/7$ de la distance initiale séparant les trains. Pour trouver le moment de la rencontre, l'élève a choisi $d = vt$.

Les élèves qui ont échoué au problème C_2 ont émis l'hypothèse que le temps de rencontre des deux trains ne sera pas le même puisque ces derniers roulent à des vitesses différentes. Ces élèves n'ont pas tenu compte de l'information indiquant que les trains partent simultanément de Montréal et Toronto. D'ailleurs, un élève a déclaré que cette information ne lui disait "pas grand chose". Cette inférence sur la non simultanéité de la rencontre expliquerait peut-être la procédure employée par ces élèves. Ils ont cherché le temps pris par chaque train pour se rendre à destination en utilisant l'opérateur $d = vt$ puisque les trains se déplacent à vitesse constante. Ensuite, le moment

de la rencontre a été calculé en trouvant la différence entre les temps requis pour se rendre à destination. La majorité de ces élèves se sont déclarés incapables de trouver le lieu de la rencontre. Seul l'élève 601-5 a trouvé cet endroit en soustrayant de la distance entre les deux villes la vitesse du train de Toronto parce que "celui-ci roulant moins vite, la rencontre se fera plus près de Toronto".

En conclusion, les élèves qui ont résolu le problème C₂ ont été ceux qui ont pu ajouter à la description initiale de la situation le fait que le temps de rencontre était la caractéristique commune aux deux trains et que la somme de leur déplacement représentait la distance les séparant au départ.

4.1.3 Les succès et échecs au problème C₃

Le problème C₃ est à contexte unique. On y décrit le comportement d'une auto qui freine afin de réduire sa vitesse de moitié. Le texte indique la vitesse initiale de l'auto en km/h et le temps de freinage en secondes. La question demande de trouver la distance de freinage. Ce problème s'est vu accorder la cote de difficulté 24/50 par les juges. Le Tableau XVI indique les étapes du modèle utilisées par les élèves.

Malgré le faible niveau de difficulté de ce problème, un seul élève a obtenu la bonne réponse. Sa démarche a consisté à transformer les km/h en m/s avant même de choisir les opérateurs lui permettant de résoudre le problème. Une fois cette opération terminée et sur la base de l'information mentionnant que la vitesse de l'auto diminue, l'élève a sélectionné $a = \Delta v / \Delta t$ pour trouver l'accélération du véhicule et $d = v_1 t + 1/2 a t^2$ pour évaluer la distance.

Pour les sept autres élèves qui n'ont pu fournir la bonne réponse, les causes de leurs difficultés sont diverses. L'élève 604-1 a une procédure comparable à 503-4. Sa seule erreur est d'avoir oublié le signe négatif de l'accélération lors de la transcription sur sa feuille de travail des résultats de l'application de l'opérateur K-2. Les six autres élèves ont tous rencontré des difficultés soit dans l'application des opérateurs pertinents, soit dans la sélection des opérateurs. Certains élèves ont choisi de bons opérateurs (K-2, K-3, K-4) mais dans l'utilisation de ceux-ci, ils ont omis de tenir compte que les unités de vitesse sont exprimées en km/h alors que le temps est en secondes. Cette erreur peut s'expliquer de la façon suivante: lorsque les élèves substituent dans les opérateurs la valeur des différentes variables, ils le font en n'inscrivant pas les unités des grandeurs physiques. Par exemple, beaucoup d'élèves ont écrit sur leur feuille de calcul l'équation suivante: $a = (54-108) \div 4s = -13,5 \text{ m/s}^2$. On notera que

les unités km/h, devant accompagner les valeurs 54 et 108, sont absentes. En obtenant la valeur de $-13,5 \text{ m/s}^2$, les élèves ont (peut-être inconsciemment) transformé km/h directement en m/s. Cette même erreur de procédure s'est répétée avec l'opérateur K-2 ou K-4. Ainsi, un élève a trouvé que la distance de freinage était de 324 mètres. Les élèves 602-1 et 603-5, en plus d'avoir commis les mêmes erreurs dans le calcul de l'accélération, n'ont pas utilisé de bons opérateurs pour évaluer la distance de freinage. L'élève 602-1 a sélectionné de mémoire l'opérateur $d = at$ qui n'existe pas en cinématique. Le comportement de l'élève 603-5 est plus difficile à expliquer. Il choisit l'opérateur $d = v_i t + 1/2 at^2$, transpose les valeurs dans les différentes variables et réalise que v_i est en km/h et t en secondes. Il prétend que ce n'est pas ça qu'il aurait dû faire. Il choisit alors $d = vt$, transforme correctement 108 km/h en 30 m/s et calcule le déplacement de l'auto. Finalement, les élèves 502-5 et 601-5 ont été incapables de se représenter la situation décrite dans le problème. Ils ont assigné à l'auto un mouvement uniforme et sur la base de cette information ont employé l'opérateur K-1 pour trouver la distance de freinage.

Si on fait exception des élèves qui n'ont pas compris le problème, la différence entre le succès et l'échec dans le problème C₃ tient en l'habileté à reconnaître qu'une même variable doit avoir des unités de grandeur similaire pour son application dans certains opérateurs.

4.1.4 Les succès et échecs au problème C₄

Le problème C₄ est un problème à contexte multiple. La situation dans le problème est la suivante: on donne les temps qu'ont pris deux nageurs pour parcourir 400 mètres. La question demande quelle distance aurait séparé le nageur le plus lent du plus rapide s'ils avaient participé à la même course. Les juges ont donné une cote de difficulté de 29/50 à ce problème.

Deux élèves ont résolu ce problème avec succès. La démarche de l'élève 601-5 a été très brève. Suite à la lecture du problème, il a transcrit l'information comme ceci: 400 m pour 297 s pour 251 s... A partir de cette représentation, il décide de faire un "genre de produit croisé" pour trouver la distance. On ne peut donner de raisons expliquant pourquoi l'élève a choisi d'associer au temps de 251 s la valeur "X". L'élève 501-1 a construit sa représentation du problème en calculant la vitesse des nageurs. En s'aidant de l'opérateur $d = vt$, il a évalué l'information qu'il obtiendrait s'il prenait la vitesse du nageur le plus rapide avec le temps du nageur le plus lent. Après plusieurs combinaisons de ce genre, il a réalisé que la vitesse du nageur le plus lent avec le temps du plus rapide donnera l'endroit où se trouvera le nageur le plus lent quand l'autre aura terminé sa course. Sa solution a consisté en l'application de cette stratégie d'évaluation.

La caractéristique commune aux comportements des élèves qui ont échoué est l'absence d'une représentation qui leur aurait permis de déterminer la position relative des nageurs lorsque le plus rapide termine son trajet. Pour les élèves 503-4, 505-5 et 602-1, leur erreur a été de calculer la distance supplémentaire parcourue par le nageur le plus rapide durant le temps requis par le nageur le plus lent pour faire son 400 mètres. Deux élèves, 504-3 et 604-1 ont inféré que la différence de position pourrait se calculer en multipliant la différence de vitesse des nageurs par la différence de temps pris pour parcourir leur 400 mètres. La caractéristique commune est donc la distance parcourue par les deux nageurs. Finalement, l'élève 603-5 prétend qu'on peut trouver la différence des deux distances en faisant le produit de la vitesse moyenne des nageurs par le temps moyen des nageurs.

TABLEAU XVII
 DIAGRAMME DES ETAPES UTILISEES PAR LES ELEVES
 QUI ONT REUSSI ET QUI ONT ECHOUE AU PROBLEME C 4

ETAPES DE SOLUTION	PROBLEMES REUSSIS		PROBLEMES NON REUSSIS							
	ELEVE 501-1	ELEVE 601-5	ELEVE 503-4	ELEVE 504-3	ELEVE 602-1	ELEVE 604-1	ELEVE 502-5	ELEVE 603-5		
	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *	TOTAL X TOTAL *
L.P.	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1
R.L.a	1		1	2	1	2	1	1	1	1
R.L.b	2		1	2	1	2	2	1	1	1
R.L.c	1			2	1	2	1	1	1	1
R.L.d	2		1	1		2	1	1	1	1
R.T.										
R.S.a										
R.S.b										
S.O.a										
S.O.b	2			1	2	4	4	2	2	4
S.O.c		1	1	4	2	5	6	1	3	5
U.O.	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y.O.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rep.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ret.	7			6	2	6	6	2	4	4

Le problème C_4 étant aussi un problème à contexte multiple, le succès dans sa solution a reposé sur la capacité de l'élève de visualiser qu'au moment où le nageur le plus rapide terminait sa course, le plus lent se trouvait "quelque part" derrière lui. En somme, il fallait que l'élève identifie la caractéristique commune aux deux objets du problème.

4.1.5 Les succès et échecs au problème C_6

Ce problème à contexte unique décrit le mouvement d'une balle qui gravit un plan incliné, s'arrête au sommet de sa trajectoire puis redescend. La description du mouvement de la balle inclut sa vitesse au bas du plan et son temps d'ascension. On demande à l'élève de trouver la distance parcourue par la balle en montant et sa vitesse, trois secondes après son départ du bas du plan.

Les trois élèves qui ont réussi ce problème ont été capables d'émettre l'hypothèse que la balle ralentit en montant et accélère sur le chemin du retour et que la grandeur de l'accélération est constante. A partir de cette représentation de la situation, les élèves 503-4, 504-3 et 604-1 ont choisi, dans un premier temps, l'opérateur K-3 pour évaluer la grandeur de l'accélération de la balle. Pour trouver son déplacement en montant, 503-4 et 504-3 ont correctement sélectionné et appliqué l'opérateur $d = v_i t + 1/2 at^2$.

L'élève 604-1 a, quant à lui, choisi l'opérateur $d = 1/2 at^2$. Cet opérateur est incorrect dans la situation présente, mais son utilisation a quand même conduit l'élève à une bonne solution qui ne s'explique autrement que par le hasard. Soulignons que même si l'élève 503-4 a connu des échecs en cinq tentatives sur neuf essais avec l'utilisation de ses opérateurs mais reconnaissant que les réponses fournies "ne marchaient pas avec le problème", il a vérifié ses opérations pour corriger ses erreurs (de calculs).

Les causes d'échecs chez les élèves qui ont échoué au problème C₆ sont multiples. Ainsi, l'élève 601-5 n'a pas compris que la balle avait un mouvement accéléré. Cette erreur dans la conception de la situation explique la mauvaise sélection de l'unique opérateur qui lui a servi à résoudre le problème. L'élève 502-5 a réalisé que la balle accélère mais devant l'absence d'information explicite sur la valeur de l'accélération, il infère que celle-ci est de 10 m/s^2 . Il trouve la distance parcourue par la balle en montant mais ne tient pas compte dans l'utilisation de K-2 que la balle a une accélération négative. Il n'a pas bien lu la seconde question car il a trouvé le déplacement de la balle en descendant alors qu'on demandait la vitesse. L'élève 602-1 a émis l'hypothèse que l'accélération de la balle au retour n'est pas la même que l'accélération en montant. Il commet une erreur dans l'utilisation de l'opérateur K-2 en ne tenant pas compte des directions de la vitesse et de l'accélération de la balle en montant.

TABIEAU XYIII
 DIAGRAMME DES ETAPES UTILISEES PAR LES ELEVES
 QUI ONT REUSSI ET QUI ONT ECHOUÉ AU PROBLEME C₆

ETAPES DE SOLUTION	PROBLEMES REUSSIS						PROBLEMES NON REUSSIS							
	EVELE 503-4		EVELE 504-3		EVELE 604-1		EVELE 602-1		EVELE 502-5		EVELE 601-5		EVELE 603-5	
	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL	* TOTAL	X TOTAL
L.P.	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R.L.a	1	1			1	1	1							
R.L.b	2	1	1	1	2	2	3	3	6		2	2	1	1
R.L.c	4	4	1	1			2	2						
R.L.d	1	1	4	4	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
R.T.	3	3	1	1			1	1						
R.S.a														
R.S.b														
S.O.a	3	1	4	2	2	4	2	2	1	1	1	1	2	2
S.O.b	1	1	2	2	2	1	3						1	1
S.O.c	4	5	9	4	2	1	3	1	1	2	2	2	1	2
U.O.	2	2	2	2	2	2	2							
Y.O.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Rep.								2	2	2	2	2	2	2
Ret.			12			8			8				1	4

Finalement, les élèves 501-1 et 603-5 ont partiellement compris le problème. Dans le cas où la balle monte, ils ont choisi un opérateur décrivant le mouvement uniforme d'un mobile. Lorsque la balle redescend, il lui découvre une accélération et choisissent donc des opérateurs qui tiennent compte de cette accélération. L'élève 603-5 omet de tenir compte de la nature vectorielle des variables dans l'opérateur K-3. Pour sa part, l'élève 501-1 utilisant l'opérateur $v_f^2 = v_0^2 + 2ad$ a réalisé qu'il ne connaissait pas la valeur de la variable d . Il lui substitue la (mauvaise) valeur de la distance parcourue par la balle en montant.

Même si ce problème ne décrit le comportement que d'un seul objet, l'incapacité des élèves à décrire le mouvement de la balle demeure la cause principale de leurs échecs dans la solution du problème.

L'examen de la performance des élèves pour chaque problème montre que seulement deux élèves "forts" ont réussi le problème C_1 qui est un problème à contexte multiple et celui ayant reçu la cote de difficulté la plus élevée. Le problème C_2 , qui est aussi un problème à contexte multiple, a été correctement solutionné par deux élèves "forts" et un élève "moyen". Le troisième problème à contexte multiple C_4 fait l'objet d'une solution correcte de la part d'un élève "fort" et d'un élève "faible". Pour les deux problèmes à contexte unique, le problème le plus facile, C_3 , n'a

été réussi que par un élève "moyen" et le problème C₆ a été résolu correctement par deux élèves "moyens". Dans ce dernier problème, un élève "fort" a obtenu deux bonnes réponses mais la première résulte de la cancellation de deux erreurs. Les éléments surprises de cette recherche sont la performance d'un élève classé "moyen" qui a résolu correctement trois des cinq problèmes. Ce qui est remarquable dans son comportement, c'est l'utilisation fréquente de l'étape de la vérification des opérations qui lui a permis de retracer la source de ses erreurs, de les corriger et d'obtenir ainsi les bonnes réponses. Par contre, un élève classé "fort" n'a réussi qu'un seul problème. Le Tableau XIX résume la performance des élèves pour chacun des problèmes.

TABLEAU XIX

PERFORMANCE DES ELEVES POUR CHACUN DES PROBLEMES

PROBLEMES	ELEVES "FORTS"						ELEVES "MOYENS"						ELEVES "FAIBLES"					
	501-1		602-1		604-1		503-4		504-3		502-5		601-5		603-5			
	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC	SUCCESS	ECHEC		
C ₁	X		*		*		X		X		X		X		X		X	
C ₂	X		*		*		*		X		X		X		X		X	
C ₃	X			X		X	*		X		X		X		X		X	
C ₄				X		X		X		X		X	*		X		X	
C ₆	X		/*	X		X/	*			*		X		X		X		
TOTAL	1	4	2	3	2.5	2.5	3	2	1	4	5	5	1	4	5	5	5	

4.2 Analyse comparée des cheminements suivis par les différentes catégories d'élèves pour l'ensemble des cinq problèmes.

Dans cette section, les caractéristiques générales des cheminements des élèves sur l'ensemble des cinq problèmes seront mises en évidence selon que les élèves appartiennent à la catégorie des forts, des moyens ou des faibles en physique. Une analyse du comportement global des différents groupes permettra de caractériser ceux-ci en faisant ressortir si ces groupes ont des comportements similaires ou différents et en quoi ils le sont. Subséquemment, il sera possible d'indiquer si certaines difficultés sont remarquées plus particulièrement dans un des trois groupes, la nature de ces dernières et si elles apparaissent aux mêmes endroits dans les cheminements.

Pour avoir une idée générale du cheminement des élèves, un diagramme de la somme des étapes utilisées par chacun d'eux a été fait à partir des totaux indiqués au bas de chaque diagramme de comportement accompagnant la solution d'un problème. De plus, pour chacune des catégories d'élèves, le grand total des utilisations, avec succès ou insuccès, des étapes et sous-étapes du processus de solution, des retours à des étapes antérieures ainsi que des réponses bonnes ou mauvaises obtenues a été compilé. Ces données sont synthétisées au Tableau XX.

TABLEAU XX
 DIAGRAMME DE LA SOMME DES ETAPES UTILISEES POUR L'ENSEMBLE DES CINQ
 PROBLEMES SELON QUE L'ELEVE EST FORT, MOYEN OU FAIBLE EN PHYSIQUE

ETAPE DE LA SOLUTION	FORTS				MOYENS				FAIBLES				ETAPE DE LA SOLUTION
	ELEVE 501-1 * TOTAL	ELEVE 602-1 * TOTAL	ELEVE 604-1 * TOTAL	GRAND TOTAL	ELEVE 503-4 * TOTAL	ELEVE 504-3 * TOTAL	GRAND TOTAL	GRAND TOTAL	ELEVE 601-5 * TOTAL	ELEVE 603-5 * TOTAL	GRAND TOTAL	GRAND TOTAL	
L.P.	20	5	5	30	5	16	21	21	5	5	14	15	L.P.
R.L.a	3	5	6	14	6	4	10	10	2	3	8	8	R.L.a
R.L.b	15	8	11	33	8	8	16	17	3	4	6	15	R.L.b
R.L.c	2	5	3	10	1	1	6	7	1	1	1	1	R.L.c
R.L.d	13	5	7	26	6	11	17	17	3	3	9	10	R.L.d
R.T.	2	2	1	4	3	2	5	5	1	1	1	1	R.T.
R.S.a	1	1	1	1	3	2	5	5	1	1	1	1	R.S.a
R.S.b	9	11	13	33	8	7	15	14	4	2	6	9	R.S.b
S.O.a	3	3	14	20	1	3	4	7	2	6	8	12	S.O.a
S.O.b	2	2	15	19	6	7	13	13	2	4	6	10	S.O.b
S.O.c	7	10	16	33	1	10	11	21	1	1	2	2	S.O.c
U.O.	4	1	4	9	13	6	19	40	5	6	10	19	U.O.
V.O.	1	7	5	12	4	1	5	6	1	1	1	1	V.O.
Rép.	6	4	7	17	2	2	4	6	7	7	7	21	Rép.
Ret.	41	20	23	84	25	24	49	49	3	6	13	22	Ret.

On constate d'abord qu'à l'exception des élèves 501-1 et 504-3 les six autres élèves, peu importe la catégorie à laquelle ils appartiennent, ne lisent qu'une seule fois le texte de chaque problème. Le comportement particulier de ces deux élèves s'explique de la façon suivante: l'élève 501-1 relit souvent deux fois le problème en entier avant de se décider à recueillir de l'information. Cette procédure, il la justifie en disant: "je relis pour m'assurer d'avoir bien compris". Après la seconde lecture, il débute la construction de sa représentation du problème en analysant une phrase à la fois pour y extraire les informations qu'il juge nécessaires. Ensuite, il retourne à nouveau lire une autre phrase et le processus recommence jusqu'à ce qu'il estime avoir recueilli assez de renseignements pour ne plus avoir à consulter le texte. L'élève 504-3 ne lit le texte au complet qu'une seule fois, mais il procède lui aussi de la même façon que l'élève 501-1 pour construire sa représentation initiale du problème.

Une fois la lecture du problème terminée, les huit élèves ont en général eu recours principalement à une représentation littérale pour se "figurer" la situation décrite dans le texte du problème. Selon le Tableau XX, il semble que les processus d'extraction de l'information soient très efficaces chez les élèves "forts" et "moyens" car la quantité et la qualité des informations contenues dans cette représentation concernant les objets du problème (R.L.a),

leurs caractéristiques (R.L.b) et les objectifs à atteindre pour résoudre le problème (R.L.d), sont de beaucoup supérieurs en nombre et en qualité chez ces catégories d'élèves. L'analyse des protocoles montrent qu'ils ont été capables de "traduire" correctement en des concepts physiques appropriés des expressions comme "la vitesse de l'auto est réduite ...", "la balle s'arrête...". Par contre, on constate que les élèves "faibles" ont très peu rassemblé d'informations sur les caractéristiques des objets et lorsqu'ils l'ont fait, cette procédure s'est avérée inadéquate dans un cas sur deux (neuf échecs en quinze utilisations de cette sous-étape). Ces élèves ignorent souvent l'information mentionnée explicitement dans le texte. Ceci veut dire qu'à ce stade préliminaire de la construction de l'espace du problème, il y a déjà une différence importante entre les élèves "forts" et "faibles" quant à la qualité et au contenu de cet espace.

En général, la présentation d'un problème de physique est telle, qu'elle oblige l'élève à devoir ajouter de l'information à celle présentée dans le texte, s'il veut avoir une compréhension adéquate de la situation. La production de cette information implicite peut être favorisée par la construction d'une représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) à partir de laquelle l'élève peut faire des inférences sur les caractéristiques des objets du problème ou sur le comportement futur de un ou

plusieurs objets. Dans la présente recherche, ce sont les élèves "forts" et un élève "moyen" qui se sont le plus prévalus de cette procédure. Le Tableau XX nous fait voir que les élèves qui ont eu le plus de succès avec cette sous-étape de la représentation littérale sont les mêmes qui ont obtenu le plus grand nombre de bonnes réponses pour l'ensemble des cinq problèmes. L'analyse des protocoles nous révèle l'utilisation de cette procédure principalement dans les problèmes à contexte multiple où l'une des difficultés principales est de "découvrir" des caractéristiques communes aux différents objets du problème.

Le modèle synthèse de cheminements de solution d'un problème de la Figure 7 indique que la construction de l'espace du problème peut se faire aussi bien à partir d'une représentation littérale que de représentations topologiques ou scientifiques. Dans la présente recherche, six élèves se sont prévalus de cette procédure dans deux problèmes, C_2 et C_6 . Dans le cas du problème C_2 , deux élèves 504-3 et 601-5 ont préféré transposer immédiatement le texte du problème en dessin avant de se construire une représentation littérale de la situation. Chez les élèves 501-1 et 602-1, la construction de la représentation topologique avait pour objectif de leur permettre de tirer de plus amples informations sur le comportement des deux trains. Pour l'élève 501-1, cette construction lui a permis de constater qu'il avait oublié d'inscrire dans sa liste des variables connues, la

distance séparant les deux trains au moment du départ. A l'aide de son dessin, il a essayé mais sans succès, de faire "bouger" les trains dans l'espoir de trouver une façon de déterminer le lieu de la rencontre. Cette dernière procédure, l'élève 604-1 l'a brillamment appliquée de telle sorte qu'il a trouvé ce lieu de rencontre sans devoir calculer auparavant le moment de la rencontre. Son cheminement fut plutôt l'inverse, car après avoir obtenu le lieu de la rencontre en travaillant sur son dessin, il choisit l'opérateur $d = vt$ pour spécifier le moment de cette rencontre. Cette représentation topologique a été utilisée spécifiquement par les élèves 503-4 et 602-1 dans le problème C₆ dans l'espoir que son emploi leur permettrait d'avoir des idées sur la façon de calculer l'accélération de retour d'une balle qui descend d'un plan incliné. Cette procédure avait été rendue nécessaire dans leur cheminement à cause de leur hypothèse voulant qu'une balle qui monte un plan incliné n'a pas la même accélération sur le chemin du retour.

La sélection des opérateurs représente une étape très importante dans la construction de l'espace du problème. Ce sont les opérateurs qui permettent à l'élève de progresser dans son espace pour arriver ultimement à l'obtention de la réponse désirée. La sélection de ces opérateurs repose essentiellement sur l'information déjà emmagasinée dans la représentation du problème. Il en résulte que

si cette information est fausse ou incomplète, le choix des opérateurs s'en trouve sérieusement affecté. Le Tableau XX indique qu'il y a une grande différence dans la pertinence des opérateurs choisis entre les élèves des catégories "fortes" et "moyennes" et ceux de la catégorie des "faibles". Les élèves "forts" et "moyens" ont choisi, en moyenne, quatorze opérateurs pour résoudre les cinq problèmes et sur ces quatorze opérateurs, le choix d'un seul s'est avéré inexact chez les élèves "forts" alors que deux opérateurs ont été incorrects dans le choix des élèves "moyens". Par contre, les élèves faibles n'ont sélectionné que huit opérateurs sur l'ensemble des problèmes et deux de ceux-ci étaient inappropriés.

C'est à l'étape de l'utilisation des opérateurs que la différence entre les trois catégories est la plus contrastante. C'est chez les élèves "forts" qu'on retrouve le plus haut taux de réussite. Le succès de ces élèves s'explique par le fait qu'ils appliquent les opérateurs à une situation qu'ils comprennent mieux que les élèves des autres catégories. Déjà chez les élèves "moyens", on constate une baisse dans l'efficacité de l'application des opérateurs. Chez les élèves "faibles", leur taux de réussite est d'environ une fois sur trois et celui-ci va de pair avec la qualité de leur représentation du problème. Il y a dans le Tableau XX au niveau de l'utilisation des opérateurs, deux

particularités importantes. La première est le taux d'échecs élevé (12/19) de l'élève 501-1 pourtant classé "fort". Cet élève n'a pas compris les problèmes C_1 , C_2 et C_6 , même si dans ceux-ci, il a sélectionné de bons opérateurs à partir d'indices se trouvant dans le texte du problème. La seconde particularité est le fait qu'un élève moyen 503-4 ait réussi à obtenir cinq bonnes réponses malgré qu'une fois sur deux, l'utilisation de ses opérateurs est incorrecte. A l'inverse du comportement de l'élève 501-1, l'élève 503-4 a été capable de se faire une représentation correcte de la situation, sauf pour les problèmes C_1 et C_4 ; la nature de ses erreurs tient plutôt à ce qu'il se trompe souvent en transformant les unités des variables.

La majorité des élèves n'ont pas employé l'étape de la vérification des opérations, seuls les élèves 501-1 et 503-4 ont eu recours à cette démarche. Pour l'élève 501-1, cela n'a pas amélioré sa performance parce que dans les problèmes où il a effectué la vérification de ses opérations, c'était plutôt la pertinence de l'emploi des opérateurs qui était en cause et même s'il a pu corriger ses erreurs de calcul, il n'en demeure pas moins que la réponse n'est pas bonne. Par contre, chez l'élève 503-4, cette démarche a porté fruits puisque la source des ses erreurs résidait surtout dans des transformations d'unités. Cet élève portait un jugement sur le "bon sens" de sa réponse dans le contexte du problème. Si la réponse ne semblait pas

être en conformité avec certaines informations de sa représentation du problème, l'élève vérifiait systématiquement les calculs qui l'avaient conduit à cette réponse.

En examinant le nombre de bonnes réponses fournies par les trois catégories d'élèves, on constate que les élèves "forts" ont répondu correctement à neuf bonnes réponses sur un total possible de vingt-et-une, soit en moyenne trois bonnes réponses par élève alors que les élèves "moyens" en ont fourni sept sur quatorze et les élèves "faibles" une sur une possibilité de vingt-et-une. Selon le critère des bonnes réponses trouvées, il n'y a pas de différence appréciable entre la catégorie des "forts" et celles des "moyens". Cette absence de différence peut s'expliquer par les comportements "surprenants" des élèves 501-1 et 503-4 en regard de la catégorie à laquelle ils appartiennent. L'élève 501-1 a réussi à trouver une seule bonne réponse alors que l'élève 503-4 en a trouvé cinq.

En résumé, ce qui différencie les trois catégories d'élèves, c'est d'abord la valeur du contenu de leur espace du problème. Comme le montre le Tableau XX, les élèves se représentent généralement les problèmes sous une forme littérale. Celle-ci consiste principalement en une liste contenant les variables connues et désirées. Chez les "forts", cette liste est plus exhaustive car ces élèves sont capables d'identifier plus de caractéristiques des objets

(R.L.b) que ne le font les élèves des autres catégories. De plus, ils sont en mesure de mieux cibler les objectifs à atteindre (R.L.d). Par exemple, s'il est mentionné qu'un objet accélère et que la valeur de cette variable n'est pas mentionnée, les "forts" se fixent comme objectif premier de trouver cette accélération avant de procéder plus loin dans la solution. Le Tableau XX indique aussi que les "forts" ont eu plus souvent recours à une représentation littérale du déroulement de la situation (R.L.c) que les autres catégories d'élèves. C'est en employant cette étape que ces élèves ont pu "visualiser" le comportement des objets pour y faire des inférences et ainsi enrichir encore plus le contenu de leur représentation. D'ailleurs, l'élève "moyen" qui a le mieux réussi s'en est prévalu autant que les élèves "forts". Cette étape est presque que inexistante chez les élèves "faibles". La décision de choisir et d'appliquer des opérateurs se fonde généralement sur l'information contenue dans l'espace du problème au moment où intervient cette décision. On observe ici que la qualité de la représentation a permis aux élèves "forts" de faire une sélection plus judicieuse de leurs opérateurs et surtout une utilisation plus efficace de ceux-ci.

4.3 Comparaison générale des solutions réussies et échouées.

Il ressort des analyses des cheminements des élèves qui ont réussi à résoudre les problèmes, que leurs succès

reposent sur une compréhension plus approfondie des situations présentées dans les divers problèmes. Ces élèves, en plus d'avoir été capables d'extraire du texte beaucoup d'informations pertinentes en identifiant les caractéristiques (R.L.b) décrivant le comportement des objets du problème, ont été en mesure d'aller au-delà de l'information présentée dans le texte pour élaborer davantage sur l'évolution de la situation. Cette dernière procédure a permis, dans les problèmes à contexte multiple de faire des inférences clefs sur les attributs des objets et d'évaluer qualitativement si l'utilisation d'un opérateur donné permettait de progresser dans la solution d'un problème. Une fois cette procédure de "visualisation" terminée, la sélection des opérateurs et la solution des équations n'ont présenté aucune difficulté.

Les difficultés rencontrées parmi ceux qui n'ont pas réussi à solutionner les problèmes ont été multiples. D'abord, il y a des élèves qui ont "oublié" de l'information pertinente au sujet des attributs des objets, d'autres n'ont pas été capable d'analyser (sémantiquement) le texte pour en extraire des informations décrivant le comportement des objets. Toutefois, la difficulté majeure se situe au niveau de la compréhension du problème qui se résumait souvent à une simple liste des variables connues et désirées, telles que mentionnées dans les problèmes. Souvent, chez ces élèves, la sélection des opérateurs s'est effectuée directement à partir du contenu de cette liste. Lorsque cette dernière

était inexacte ou incomplète, les opérateurs choisis ne furent pas les bons. Une autre difficulté a surgi, lorsque dans un problème, l'information a été présentée en utilisant des unités différentes pour décrire des grandeurs physiques. Lorsqu'est venu le moment d'utiliser ces informations dans des opérateurs, les élèves n'ont aucunement tenu compte de l'hétérogénéité des unités avant d'effectuer les calculs. Finalement, lorsqu'une réponse est obtenue, peu d'élèves se sont soucié de vérifier sa validité.

4.4 Résumé du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons examiné le comportement des huit élèves dans leur façon de résoudre les cinq problèmes. Pour examiner ces comportements, nous avons utilisé comme moyen de comparaison un diagramme de comportements construit à partir d'un modèle synthèse des chemine-ments possibles dans la solution de problèmes de physique. Dans un premier temps, notre intérêt était de comparer les étapes suivies par les élèves qui ont réussi à résoudre chacun des problèmes à celles des élèves qui ont échoué, afin de faire ressortir les différences entre le succès et l'échec dans les solutions.

Cette comparaison met en lumière l'importance de l'utilisation d'une représentation qualitative du déroulement de la situation surtout dans les problèmes où l'on

doit tenir compte du comportement de deux objets. Cet "envisonnement" a permis précisément aux élèves qui ont réussi, de se développer une série d'images montrant l'évolution des divers objets. A partir de ces images, les élèves ont pu inférer des caractéristiques communes aux deux objets. C'est à la suite de cette représentation plus élaborée de la situation que les élèves ont construit la représentation mathématique appropriée en choisissant des opérateurs pertinents et en appliquant ceux-ci de façon efficace. Chez les élèves qui ont échoué aux problèmes à contexte multiple, une représentation du déroulement de la situation est incomplète ou absente de leur cheminement. Il en résulte que même si les opérateurs choisis étaient les bons, parce qu'il y avait suffisamment d'informations explicites pour les sélectionner, leur utilisation n'a pu contribuer à l'obtention de la réponse finale. Il y avait deux problèmes à contexte unique dans la présente recherche. Dans le problème C₃, la description du comportement de l'objet était très explicite. A l'exception de deux élèves "faibles" qui n'ont pu décoder correctement cette information et qui ont, par conséquent, choisi des opérateurs inappropriés à la situation, les causes des échecs reposent sur la difficulté introduite par l'emploi d'unités de grandeur différente pour décrire un même concept.

Pour comprendre la situation décrite dans le second problème à contexte unique C₆, les élèves qui ont réussi ont été capables d'inférer avec ou sans l'aide d'une représentation du déroulement de la situation ou un dessin que l'objet avait une accélération constante tout au long de son trajet. Chez les élèves qui ont échoué au problème, leur représentation est carrément incorrecte ou l'objet n'a pas d'accélération, ou l'objet monte à vitesse constante et descend en accélérant, ou bien l'accélération est différente selon que l'objet monte ou descende.

Dans un deuxième temps, nous avons établi des comparaisons entre les procédures employées par les élèves selon qu'ils appartenaient à la catégorie des "forts", "faibles" ou "moyens" afin d'y observer quelles caractéristiques les classent dans une catégorie particulière. Les élèves "forts" ont un espace du problème plus élaboré que les deux autres catégories d'élèves. La sélection et l'utilisation des opérateurs présentent un taux d'efficacité plus élevé que chez les deux autres groupes. Les élèves "faibles" ont une représentation très pauvre des problèmes ce qui affecte sérieusement la pertinence de la sélection et de l'utilisation des opérateurs. Il est ressorti de cette comparaison entre les divers groupes que deux élèves ne semblent pas appartenir au groupe dans lequel ils sont classés. L'un classé "fort" n'a répondu correctement qu'à une seule question, l'autre un élève "moyen" a eu une performance qui le caractérisait comme un élève "fort".

Enfin, une comparaison générale des solutions a été faite pour mettre en lumière que le succès ou l'échec d'un processus de solution repose sur l'étape de la construction de l'espace du problème qui est la représentation que se fait l'élève de la situation décrite dans le problème. Cette étape serait, semble-t-il, primordiale car elle guide l'application correcte des opérateurs nécessaires à l'obtention d'une bonne réponse.

CHAPITRE V

CONCLUSION

L'enseignement de la physique au niveau secondaire pose un défi considérable aux enseignants de cette discipline. Le nombre relativement restreint d'élèves qui choisissent cette matière, les récrémations de ceux-ci devant les difficultés qu'ils rencontrent dans l'apprentissage de la physique et le taux élevé d'échecs aux examens provinciaux sont de constants rappels de cet état de fait.

L'objectif de la présente étude était d'identifier les difficultés que rencontrent des élèves de ce niveau lorsqu'ils ont à résoudre des problèmes de physique. Le moyen retenu pour cette étude a été d'observer le comportement de huit élèves de cinquième année du secondaire au cours de la solution de cinq problèmes de cinématique. Ensuite, à l'aide d'une grille d'analyse élaborée à partir d'un modèle de résolution de problèmes de physique, les cheminements suivis par les élèves ont été décrits et des difficultés sous-jacentes à ces cheminements ont été identifiées.

Le modèle synthèse de résolution de problèmes qui a servi à construire la grille d'analyse des cheminements est basé sur l'hypothèse voulant que la solution d'un problème peut se diviser en deux grands processus. Le premier est le processus de construction de l'espace du problème qu'on associe au processus de compréhension. Le second est le pro-

cessus de solution correspondant au cheminement suivi par l'élève dans cet espace du problème. Des cinq problèmes de cinématique que les élèves ont eu à résoudre, trois décrivaient l'évolution de deux objets et les deux autres étaient des problèmes à contexte unique.

L'analyse des données montre que même avec des problèmes ne faisant appel qu'aux concepts de base que sont les notions de temps, de déplacement de vitesse et d'accélération, aucun élève n'a pu résoudre correctement les cinq problèmes. En fait, leurs succès se répartissent comme suit: un élève a réussi trois problèmes; un élève a réussi deux problèmes et demi; un troisième a réussi deux problèmes; trois élèves ont réussi au moins un problème et les deux autres n'ont pas été en mesure de résoudre correctement aucun des cinq problèmes.

L'examen des performances des élèves pour chaque problème nous révèle que dans la catégorie des problèmes à contexte multiple, la différence entre le succès ou l'échec s'explique principalement par la façon dont les élèves construisent leur espace du problème. Les élèves qui ont réussi à résoudre ces problèmes ont cherché à comprendre la situation, en décrivant de façon littérale ou au moyen d'un dessin, le comportement de chacun des objets pour y déceler les caractéristiques communes à ces objets. Ces élèves ont, en quelque sorte, été capables de "sortir" du texte du pro-

blème en faisant ce que De Kleer appelle de "l'envisonnement". Par contre, les élèves qui ont échoué à ce type de problèmes n'ont pu se représenter correctement l'évolution de la situation pour générer des inférences utiles à l'élaboration de leur modèle interne de la situation. Quelques élèves n'ont même pas tenu compte de certaines informations mentionnées dans le texte des problèmes. Ce comportement est possiblement attribuable à un manque d'attention. Les élèves de cinquième secondaire, dont nous avons examiné le comportement, emploient une stratégie de sélection des opérateurs qui se fonde sur la présence d'informations spécifiques dans leur espace du problème. Ces informations sont souvent des mots clefs comme vitesse constante, accélération, ralenti... Malgré cette absence d'une représentation adéquate de la situation du problème, on observe une sélection correcte des opérateurs autant chez les élèves qui réussissent que chez ceux qui échouent. On peut expliquer ce succès par le fait que le contenu conceptuel des problèmes étant très limité, les élèves ont été capables de trouver les bons opérateurs à partir d'un nombre restreint d'indices contenu dans leur représentation de la situation. C'est au niveau de l'utilisation des opérateurs qu'on observe la différence la plus significative entre les succès et les échecs dans ces problèmes. Les insuccès sont exclusivement dus à ce que les élèves ont appliqué leurs opérateurs à des situations différant grandement de celles décrites dans les problèmes. Dans le cas des problèmes à

contexte unique, la différence entre les succès ou les échecs tient à plusieurs raisons. Dans le problème C₃, il y a deux raisons principales qui peuvent expliquer les échecs, car le texte décrit clairement le comportement de l'objet. La première est que deux élèves n'ont pas été capables d'identifier correctement certains attributs de l'objet, de telle sorte que leur représentation du mouvement de l'objet est incorrecte. Sur la base de leur représentation incorrecte, ils ont donc choisi un mauvais opérateur. Un élève a une bonne représentation et une bonne sélection des opérateurs au départ mais en cours de solution, il change d'opérateur sans justifier sa décision. Les autres élèves qui ont échoué ont tous oublié de transformer des km/h en m/s dans l'utilisation des bons opérateurs. Dans ce dernier cas, on peut attribuer l'échec au manque de familiarité avec l'analyse dimensionnelle. Les élèves qui ont résolu efficacement le problème C₆ ont dû faire appel à leur connaissance de la physique sur le comportement d'un objet qui se déplace sur un plan incliné pour inférer que l'accélération de cet objet est constante et différente de celle d'un objet qui tombe en chute libre. L'absence de telles inférences explique pourquoi les élèves ont échoué.

Dans un deuxième temps, une comparaison entre les comportements des élèves "forts", "faibles" et "moyens" a été faite. Le critère de classification des trois groupes d'élèves était leur rang cinquième au sommaire de leur

quatrième bulletin. Cette comparaison a fait ressortir que même lorsque la situation des problèmes était complexe, certains élèves "forts" ont été capables de se représenter cette situation en allant au-delà du texte du problème en utilisant des étapes similaires à la représentation littérale et/ou topologique du modèle synthèse élaboré au Chapitre Un. C'est à partir de ce que Newell et Simon (1972) appellent un espace du problème "augmenté" que ces élèves "forts" ont fait une sélection plus judicieuse des opérateurs leur permettant de construire une représentation mathématique adéquate de la situation. Dans l'ensemble, leur utilisation des opérateurs a été la plus efficace des trois catégories d'élèves. Les élèves "moyens" et "faibles" n'ont en général réussi qu'à construire un espace du problème ne contenant que des informations explicites dans le texte du problème. La "pauvreté" de cet espace pourrait expliquer que la sélection et l'utilisation des opérateurs sont moins efficaces chez ces deux groupes. Cette différence dans la qualité de l'espace du problème construite par les élèves "forts" proviendrait du fait qu'à leur âge, ils possèdent déjà des capacités d'analyser une situation qu'on ne retrouve pas chez les élèves des autres catégories. Il y a deux éléments surprises qui ressortent de la comparaison entre les trois catégories d'élèves. La première est la performance d'un élève classé "moyen". Ce qu'il y a de plus remarquable dans son comportement, c'est que malgré un nombre élevé d'échecs dans l'utilisation de bons opérateurs,

cet élève a réussi à obtenir cinq bonnes réponses sur sept, en vérifiant systématiquement ses calculs, lorsque la réponse obtenue lui paraissait ne pas avoir du "bon sens". Sa performance devrait le classer parmi les élèves "forts". L'autre surprise est la pauvre performance d'un élève "fort". Celui-ci n'a obtenu qu'une seule bonne réponse. Il est possible que la façon de classer les élèves sur la base de leurs notes au bulletin n'est pas un indice fiable de leur capacité à résoudre des problèmes.

Dans un troisième temps, la comparaison a porté sur les élèves selon qu'ils ont réussi ou échoué chacun des problèmes. Cette comparaison a permis de déterminer que les élèves qui ont connu du succès pour se représenter les problèmes ont utilisé en général des étapes de la représentation littérale de notre modèle. En particulier, on constate que ces élèves ont fait de "l'envisonnement" soit pour élaborer davantage sur la situation, soit pour vérifier si l'application d'un opérateur particulier pouvait faire progresser la solution. Les élèves qui ont connu l'insuccès n'ont pas effectué cette sous-étape. L'information qu'ils ont utilisée pour résoudre le problème correspondait essentiellement à celle présentée explicitement dans le problème.

Cette recherche visait à décrire et à analyser les processus de résolution de problèmes d'élèves de cinquième année du secondaire afin d'identifier les difficultés que ces élèves rencontrent dans la solution de problèmes de physique. Il ressort des analyses précédentes que l'une des difficultés principales est reliée à la compréhension du problème, c'est-à-dire à la construction d'une représentation interne de celui-ci appelée l'espace du problème. On observe que les élèves qui ont réussi, ont construit une représentation plus détaillée que ceux qui ont échoué. Cependant, la recherche ne nous permet pas d'expliquer ce qui incite les élèves qui ont réussi à élaborer davantage sur la situation que ceux qui ont échoué. Elle ne permet pas non plus d'expliquer pourquoi les élèves "faibles" oublient systématiquement des informations pertinentes. Est-ce dû à la formulation du problème? A leur capacité de rétention d'informations qui ne leur permettrait pas d'accumuler beaucoup d'informations? Il y a d'autres questions auxquelles le présent travail ne répond pas: pourquoi en cours de route un élève change-t-il de bons opérateurs pour des opérateurs incorrects? D'autre part, le modèle théorique qui a servi de base à la construction de la grille d'analyse ne permet pas d'expliquer les raisons qui poussent un élève à choisir tel cheminement plutôt que tel autre. Quand les élèves expliquent à voix haute leur démarche, nous pouvions facilement suivre le raisonnement mais pour certains qui n'exprimaient pas clairement la raison de leurs

décisions de procéder d'une telle façon plutôt qu'une autre, il nous a été impossible de comprendre les motifs qui les poussaient à prendre une voie particulière dans la solution de leurs problèmes.

Il se dégage des résultats de la présente recherche que l'enseignement de la physique au niveau secondaire devrait mettre plus l'accent sur l'acquisition d'habiletés permettant aux élèves de mieux comprendre la situation décrite dans le problème avant d'entreprendre la sélection des équations. Il faudrait en quelque sorte essayer d'éliminer le comportement initial qu'ont les élèves de chercher une formule dès la lecture du problème terminé. L'étude tend à montrer qu'une approche obligeant l'élève à utiliser des représentations qualitatives pour décrire "en long et en large" la situation est un pas dans la bonne direction. Ces représentations qualitatives devraient permettre à l'élève d'identifier le ou les comportements propres à chacun des objets du problème avant même de procéder aux choix des opérateurs. Dû au fait qu'il y a plusieurs échecs dans l'utilisation de bons opérateurs lorsque les variables ont des unités de grandeur différente, l'enseignant devrait obliger les élèves à écrire les unités dans les équations et à faire l'analyse dimensionnelle avant d'exécuter les calculs. Finalement, il semble que la vérification de la pertinence d'une réponse soit un comportement fort peu répandu chez les élèves que nous avons

interrogés et pourtant, le présent travail montre que la performance d'un élève "moyen" a été grandement améliorée en utilisant cette procédure. N'y aurait-il pas lieu que les enseignants insistent plus sur cette étape?

Il serait intéressant de pousser plus avant cette recherche pour nous permettre de construire des modèles de résolution de problèmes permettant d'expliquer par quels processus des élèves du secondaire arrivent à construire des représentations de la situation qui vont au-delà de l'information contenue dans le texte du problème. Dans un même temps, nous pourrions peut-être expliquer pourquoi les élèves "faibles" n'arrivent pas à de telles représentations. Ultérieurement, nous pourrions envisager une recherche avec des élèves qui auraient reçu un enseignement axé sur la réussite d'utilisation des différentes représentations dans leur cheminement de résolution de problèmes pour voir si cette procédure peut augmenter de façon appréciable une meilleure compréhension des phénomènes physiques et de ce fait, les aider à mieux performer dans la résolution de problèmes. Une étude comparative avec des élèves qui recevraient un enseignement traditionnel nous permettrait alors d'évaluer s'il faut encourager ou non ce type d'enseignement.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON, J.R. Language, Memory and Thought. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1976.
- ANDERSON, J.R., BOWER, G.H. Human Associative Memory. Washington D.C.: V.H. Winston and Sons, 1973.
- ANDERSON, J.R., GREENO, J.G., KLINE, P.J., ET NEVES, D.M. Acquisition of Problem Solving Skill. In J.R. Anderson (Eds.), Cognitive Skills and their Acquisition. Hillsdale, N.J.: Laurence Erlbaum Associates, 1981.
- ARONS, A.B. Cognitive Level of College Physics Students. American Journal of Physics, 47, 7, 650-1, 1979.
- ARONS, A.B. Phenomenology and Logical Reasoning in Introductory Physics Courses. American Journal of Physics, 50, 1, 13-20, 1982.
- BHASKAR, R., SIMON, H.A. Problem Solving in Semantically Rich Domains: An Example from Engineering Thermodynamics. Cognitive Science, 1, 193-215, 1977.
- BLOOM, B.S., BRODER, L. Problem Solving Processes of College Students. Chicago: University of Chicago Press, 1950.
- BLOOM, B.S., ET COLLABORATEURS. Taxonomie des Objectifs Pédagogiques, I. Domaine Cognitif. Trad. Lavallée, Montréal: Educ. Nouvelle, 1968.
- BOBROW, D.G. A Question-Answering System for High-School Algebra Word Problems. A F I P S Conference Proceedings. Vo. 26. Fall Joint Conference. Baltimore: Spartan Books, 1964.
- BOBROW, D.G. Natural Language Input for a Computer Problem-Solving System. In M. Minsky (Ed.). Semantic Information Processing. Cambridge, Mass.: M.I.T. Press, 1968.
- BUNDY, A. Will It Reach the Top? Predictions in the Mechanics World. Artificial Intelligence, 10, 129-146, 1978.

- BUNDY, A, LUGER, G., MELLISH, C. AND PALMER, M. Knowledge About Knowledge: Making Decisions in Mechanics Problem Solving. Proceedings of AISB/GI Conference, 71-82, 1978.
- CHAMPAGNE, A.B., KOPFER, L.E., ANDERSON, J.H. Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics. American Journal of Physics, 48, 12, 1074-1079, 1980.
- CHI, M.T.H., FELTOVICH, P.J., GLASER, R. Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. Cognitive Sciences, 5, 121-152, 1981.
- CLAYTON, W. Skill in Algebra. In J.R. Anderson (Ed.). Cognitive Skill and their Acquisition. Hillsdale N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1981.
- CLEMENT, J. Mapping a Student's Causal Conceptions from a Problem-Solving Protocol. In J. Lochhead and J. Clement (Eds.), Cognitive Process Instruction. Philadelphia, Pen.: The Franklin Institute Press, 1979.
- CLEMENT, J. Student's Preconception in Introductory Mechanics. American Journal of Physics, 50, 1, 66-71, 1982.
- DE KLEER, J. Qualitative and Quantitative Knowledge in Classical Mechanics. Master's Thesis, M.I.T., 1975.
- DE KLEER, J. Multiple Representations of Knowledge in a Mechanic Problem Solver. International Joint Conference on Artificial Intelligence, 5, 299-304, 1977.
- DUNCKER, K. On Problem Solving (trans: L.S. Lees, from 1935 original). Psychological Monographs, 1945, 58 (Whole no. 270).
- FELDHUSEN, J., GUTHRIE, V.A. Models of Problem Solving Processes and Abilities. Journal of Research and Development in Education, 12, 2, 22-32, 1979.
- FELDHUSEN, J. New Hope for Problem Solving Researchers. J. Struct. Learn., 6, 323-325, 1980.

FULLER, R.G. Solving Physics Problems - How Do We Do It?
Physics Today, Sept. 1982.

GREENFIELD, L.B. Engineering Student Problem Solving. In J. Lochhead and J. Clement (Eds.), Cognitive Process Instruction. Philadelphia, Pen.: The Franklin Institute Press, 1979.

GREENO, J.G. Indefinite Goals in Well-Structure Problems.
Psychological Review, 83, 479-491, 1976.

GREENO, J.G. Cognitive Objectives of Instruction: Theory of Knowledge for Solving Problems and Answering Question. In D. Klhar (Ed.), Cognitive and Instruction. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1976.

GREENO, J.G. Process of Understanding in Problem Solving. In N.J. Castellan, D.B. Pisoni, G.R. Potts (Eds.). Cognitive Theory (vol. 2). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1977.

GREENO, J.G. Nature of Problem Solving Abilities. In W.K. Esters (Ed.). Handbook of Learning and Cognitive Processes (vol. 5). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1978.

GREENO, J.G. Trends in the Theory of Knowledge for Problem Solving. In D.T. Tuna,, F. Reif (Eds.). Problem Solving and Education: Issues and Research. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1980.

HAYES, J.R., SIMON, H.A. Understanding Written Problem Instructions. In L.W. Gregg (Ed.). Knowledge and Cognition. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1974.

HELLER, J.I., ET GREENO, J.G. Information Processing Analyses of Mathematical Problem Solving. In R.W. Tyler and S.H. White (Eds.), Testing, Teaching, and Learning: Report of a Conference on Research on Testing. Washington, D.C.: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, National Institute of Education, October 1979.

HESTENES, D. Wherefore a Science of Teaching? The Physics Teacher, April, 235-242, 1979.

- HINSLEY, D.A., HAYES, J.R., SIMON, H.A. From Words to Equations Meaning and Representation in Algebra Word Problems. In M.A. Just, P.A. Carpenter (Eds.). Cognitive Processes in Comprehension. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1977.
- HUNT, E. The Memory we Must Have. In R.C. Schank et K.M. Colby (Eds.). Computer Models of Thought and Languages. San Francisco: W.H. Freeman, 1973.
- KHLAR, D., SIEGLER, R.S. The Representation of Children's Knowledge. In H. Reese et L.P. Lipsitt (Eds.), Advances in Child Development. New York: Academic Press, 1977.
- KINTSCH, W. Learning, Memory and Conceptual Processes. New York: John Wiley and Sons, 1970.
- LARKIN, J.H. Problem Solving in Physics. (Tech. Rep.). Berkeley: Group in Science and Mathematics, Education. Berkeley: University of California, 1977.
- LARKIN, J.H. Information Processing Models and Science Instruction. In J. Lockhead, J. Clement (Eds.). Cognitive Process Instruction. Philadelphia, Pen.: The Franklin Institute Press, 1979.
- LARKIN, J.H., REIF, F. Understanding and Teaching Problem Solving in Physics. Eur. J. Sci. Educ. 1,2, 191-203, 1979.
- LARKIN, J.H. Teaching Problem Solving in Physics: The Psychological Laboratory and the Practical Classroom. In D.T. Tuna, F. Reif (Eds.). Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1980 a.
- LARKIN, J.H. Skilled Problem Solving in Physics: A Hierarchical Planning Model. J.Struct. Learn. 6, 271-297, 1980 b.
- LARKIN, J.H., HELLER, J.I., GREENO, J.G. Instructional Implications of Research on Problem Solving. In W. J. McKeachie (Ed.). New Directions for Teaching and Learning, 2. San Francisco: Ca: Jossey-Bass, 1980.

LARKIN, J.H., MC DERMOTT, J., SIMON, D.P., SIMON, H.A. Models of Competence in Solving Physics Problems. Cognitive Science, 4, 317-345, 1980 a.

LARKIN, J.H., MC DERMOTT, J., SIMON, D.P., SIMON, H.A. Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems. Science, June, 208, 1335-1342, 1980 b.

LARKIN, J.H. Cognition of Learning Physics. American Journal of Physics, 49, 6, 534-541, 1981.

LARKIN, J.H. Enriching formal Knowledge: A Model for Learning to Solve Textbook Physics Problems. In J.R. Anderson (Ed.). Cognitive Skills and their Acquisition. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1981b.

LIN, H. Approaches to Clinical Research. In J. Lochhead and J. Clement (Eds.), Cognitive Process Instruction. Philadelphia, Pa.: The Franklin Institute Press, 1979.

LUGER, G.F. Mathematical Model Building in the Solution of Mechanics Problems Human Protocol and the MECHO Trace. Cognitive Science, 5, 55-77, 1981.

MC DERMOTT, J., LARKIN, J.H. Representing Textbook Physics Problems. In Proceedings of the 2nd National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence. Toronto: University of Toronto, 1978.

MILLER, G.A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. Psychological Review, 63, 81-97, 1956.

NEWELL, A., SIMON, H.A. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1972.

NEWELL, A. One Final Word. In D.T. Tuma and F. Reif (Eds.). Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1980.

NORMAN, D.A., RUMELHART, D.E. Explorations in Cognition. San Francisco, Ca: W.H. Freeman, 1975.

- NOVAK, G.S. JR. Representations of Knowledge in a Program for Solving Physics Problems. International Joint Conference in Artificial Intelligence, 5, 286-291, 1977.
- PAIGE, J.M., SIMON, H.A. Cognitive Processes in Solving Algebra Word Problems. In B. Kleinmuntz (Ed.). Problem Solving: Research, Method and Theory. N.Y.: John Wiley and Sons, 1966.
- PETERS, P.C. Even Honours Students Have Conceptual Difficulties with Physics. American Journal of Physics, 50, 6, 501-508, 1982.
- QUILLIAN, M.R. Semantic Memory. In M. Minsky (Ed.). Semantic Information Processing. Cambridge, Mass.; M.I.T. Press, 227-270, 1968.
- REIF, F., LARKIN, J.H., BRACKETT, G.C. Teaching General Learning and Problem Solving Skills. American Journal of Physics, 44, 3, 312-217, 1976.
- REIF, F., HELLER, J.I. Knowledge Structure and Problem Solving in Physics. Educational Paper no. 12. Physics Department and Group in Science and Mathematics Education. Berkeley: University of California, 1981.
- REIF, F. Theoretical and Educational Concerns with Problem Solving: Bridging the Gaps with Human Cognitive Engineering. In D.T. Tuma, F. Reif (Eds.). Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1980 a.
- RUMELHART, D.E., LINDSAY, P.H., NORMAN, D.H. A Process Model for Long-Term Memory. In E. Tulvig and W. Donaldson (Eds.). Organisation and Memory. New York: Academic Press, 1972.
- RUMELHART, D.E. Introduction to Human Information Processing. New York: John Wiley and Sons, 1977.

- SCHANK, R.C., ABELSON, R.P. Scripts, Plan, Goals, and Understanding: an Inquiry into Human Knowledge Structures. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1977.
- SCHANK, R.C. Conceptual Dependency: A Theory of Natural Language Understanding. Cognitive Psychology, 3, 552-631, 1972.
- SIMON, H.A. How Big Is a Chunk? Science, 183, 482-488, 1974.
- SIMON, H.A. Models of Discovery. Boston: Reidel, 1977.
- SIMON, D.P., SIMON, H.A. Individual Differences in Solving Physics Problems. In R. Siegler (Ed.). Children's Thinking: What Develops? Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1978.
- SIMON, H.A. Information-Processing Theory of Human Problem Solving. In W.K. Estes (Ed.). Handbook of Learning and Cognitive Processes, vol. 5. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1978 a.
- SOWDER, L.K. Problem Solving/Response. In E. Fennema (Ed.). Mathematics Education Research: Implications for the 80's. Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, Virginia, 1981.
- STERNBERG, S. High Speed Scanning in Human Memory. Science, 153, 652-654, 1966.
- VIENNOT, L. Le Raisonnement Spontané en Dynamique Elementaire. Paris. Hermann, 1979.
- WERTHEIMER, M. Productive Thinking. N.Y.: Harper and Row, 1945 (enlarged Edition, 1959).
- WINOGRAD, T. Understanding Natural Language. Cognitive Psychology, 3, 1-191, 1972.

APPENDICE A

LES PROBLEMES PROPOSES INITIALEMENT

Cinématique

Une voiture est immobile à un feu de circulation. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4,0 secondes. Au moment même, la voiture est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir pour rejoindre le camion?

Cinématique

Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km. Un train quitte Montréal à 13h00 et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h. Au même moment, un autre train quitte la ville Reine et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h. Où et quand se croiseront-ils?

Cinématique

Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ kg roule à 108 km/h. Le conducteur applique les freins pendant 4,0 secondes. Durant cet intervalle de temps, la vitesse de l'auto est réduite de moitié. Calculez le déplacement de l'auto durant ces quatre secondes.

Cinématique

En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement. De combien de mètres Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?

Cinématique

Un canot automobile remonte une rivière en maintenant le régime du moteur constant. En passant devant un quai, un passager laisse tomber un bouchon de liège dans l'eau; ce dernier descend lentement au fil du courant. Le bateau continue à remonter la rivière pendant 40 minutes après son passage au quai; puis il fait demi-tour et redescend la rivière, toujours avec le même régime de moteur. Le timonier, qui veut connaître la vitesse du courant de la rivière, surveille l'instant où il croisera le morceau de liège. Il constate que cette rencontre a lieu à 5,0 km en aval du quai devant lequel le morceau de liège est tombé. Calculez la vitesse du courant.

Cinématique

Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de $4,0 \text{ m/s}$; elle s'arrête sur le plan incliné après $2,0$ secondes. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné? Quelle est la vitesse de la balle $3,0$ secondes après son départ du bas du plan?

Cinématique

Une balle tombe en chute libre durant une seconde. Calculez la vitesse moyenne de la balle pendant cette seconde.

Dynamique

Une personne de 80 kg se tient debout dans un ascenseur. Calculez la force que le plancher exerce sur cette personne lorsque l'ascenseur monte avec une accélération de $2,0 \text{ m/s}^2$.

Dynamique

Un avion réalise une boucle de 1,00 km de rayon dans le plan vertical. Calculez la force que le siège exerce sur le pilote au sommet de la boucle si l'avion vole à 120 m/s.

Dynamique

Une personne de 50 kg se déplace sur une surface horizontale avec une accélération de $1,0 \text{ m/s}^2$. Calculez la force résultante exercée par le sol sur la personne.

Dynamique

Deux forces, F_1 et F_2 agissent sur un objet de telle sorte que la force résultante est égale à celle de F_1 et fait un angle de 90° avec celle-ci. Si $F_1 = 10\text{N}$, calculez la grandeur et la direction de F_2 .

Dynamique

Un bloc de 10N reposant sur une surface horizontale, est tiré au moyen d'une corde faisant un angle de 30° avec l'horizontal. Lorsque la force dans la corde est de 10N, le bloc se déplace avec une vitesse constante. Calculez la force de friction qui s'exerce sur le bloc.

Dynamique

On fait tourner dans le plan vertical un seau rempli d'eau. La circonférence de la trajectoire décrite par le seau est de 6,28 m. Quelle doit-être la fréquence minimum de rotation pour que l'eau ne tombe pas?

APPENDICE B

TEXTE LU PAR L'OBSERVATEUR A L'ELEVE

Cette expérience se déroule dans le cadre d'une étude effectuée sous la responsabilité de la faculté des Sciences de l'Éducation de l'Université de Montréal. Avant de débiter, nous désirons t'assurer de la plus grande confidentialité en ce qui à trait aux informations que tu nous transmettras.

But: Le but de l'expérience est de montrer le cheminement que des élèves du secondaire, comme toi, utilisent pour solutionner des problèmes de physique du genre de ceux que tu rencontres dans ton cours, afin d'identifier les difficultés reliées à ce cheminement.

L'expérimentation: Pour déterminer la procédure que tu utilises, on va enregistrer ta façon de solutionner cinq problèmes de cinématique.

Je n'ai pas à te dire l'importance de ta participation à cette étude. Toute la base de l'analyse repose sur ta façon personnelle de solutionner les problèmes. Je te demande donc:

- 1) de lire le problème à haute voix;

2) d'exprimer clairement toutes les étapes de ta procédure même les détails qui pourraient te sembler insignifiants ou inutiles. Tout ce que tu as à dire est intéressant et tu ne dois pas te gêner pour faire des commentaires. J'apprécierais que tu parles à haute voix même quand tu travailles sur papier. Je te le répète, mon seul point de référence pour l'analyse de ce travail sera l'enregistrement de cette cassette.

Au cours de l'expérience, tu peux utiliser ta calculatrice et tes notes de cours. Ainsi, quand tu cherches dans tes notes, tu expliques les raisons de ton geste. Tu as aussi à ta disposition des feuilles de papier pour travailler.

Ce travail n'est ni un test d'intelligence, ni une compétition entre des élèves. Ce n'est pas non plus un concours pour déterminer celui qui solutionnera le plus rapidement les problèmes. Je te le rappelle, le but premier est de savoir comment toi, tu t'y prends pour résoudre chacun des problèmes.

J'apprécie grandement ta participation car sans elle, cette étude ne serait pas possible.

Y a-t-il des questions? Car une fois l'expérimentation débutée, je ne peux intervenir pour t'aider.

APPENDICE C

PROTOCOLES DES ELEVES POUR LES CINQ PROBLEMES

PROTOCOLE DE 501-1 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m par seconde en 4 secondes.
3. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m par seconde.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir en accélérant pour rejoindre le camion?
5. On a déjà fait un problème qui ressemble à cela, je pense...
6. Je vais fouiller dans mes notes...
7. Je suis en train d'en regarder un, je le lis pour voir si ça ne serait pas ça.
8. Non...
9. Non, je pense que je ne le trouverai pas.
10. Bon, je vais le relire encore.
11. Une voiture est immobile à un feu de circulation, alors la vitesse initiale c'est zéro.
12. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m. en 4 secondes.
13. Bon, on va dire 16 m en 4 secondes, c'est l'accélération, 16 mètres par seconde en 4 secondes.
14. Ça veut dire que l'accélération c'est 4 m/s divisé par 4 s, ça va donner une accélération de 4 m par s².
15. Je vérifie si c'est bien cela, je pense que... divisé par 2 s, ah oui, l'inverse multiplicatif.
16. Qu'est-ce que je dis là?
17. O.K. c'est correct, là je comprends, 4 m/s².
18. Là, je continue à lire.
19. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à une vitesse uniforme de 16 m par seconde.
20. La vitesse du camion c'est de 16 m par seconde.
21. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?
22. Bon, c'est-à-dire on demande la distance.
23. J'ai la vitesse initiale, l'accélération et puis on cherche la distance.
24. J'essaie de trouver une formule.
25. Ça veut dire que pour dépasser le camion, faudrait avoir au moins une vitesse de 6 m par s, je veux dire un peu plus, 7...
26. Je vais le relire encore.
27. Une voiture... Relecture de la ligne 1.
28. Relecture de la ligne 2.
29. Relecture de la ligne 3.
30. Relecture de la ligne 4.
31. Bon, la seule formule que je trouve c'est d est égal à v fois t plus at^2 divisé par 2, mais on n'a pas le temps...

32. Ah! mais oui! il y a une formule c'est $2ad$ est égal à v_f au carré, moins v_i au carré.
33. Bon, on a l'accélération qui est ... ah bien non c'est la distance..., ah bien on l'a c'est ça.
34. Je vais commencer par isoler ma distance.
35. Ça veut dire v_f au carré moins v_i au carré, divisé par $2a$ est égal à d .
36. Alors, v_f ... on a pas v_f ...
37. Le camion va à 16 m par seconde, non 6 m par seconde, non c'est ça, c'est 16.
38. Bon, il faut essayer de rejoindre au moins ça, 16 m par seconde.
39. On va marquer ça à v_f .
40. Bon, je ne sais pas si cela a du bon sens, mais...
41. Bon, je peux essayer au moins.
42. v_i bien c'est zéro, il part avec aucune vitesse.
43. Puis l'accélération c'est alors 2 fois 4 m par s^2 .
44. Alors 16 m au carré... moins zéro au carré, ça veut dire qu'on laisse tomber.
45. _____ divisé par 2 fois 4, 8. Ca veut dire que la distance serait de 32 m.

PROTOCOLE DE 501-1 POUR LE PROBLEME C2.

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à une heure juste et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. Pour être sûr que j'ai bien compris, il faut que je relise une deuxième fois.
6. Relecture.
7. Relecture.
8. Relecture.
9. Relecture.
10. Bon, où et quand, ça veut dire la distance puis le temps.
11. Je le relis encore pour être sûr.
12. Relecture de 1.
13. Un train quitte Montréal à 13 heures et se dirige vers Toronto ... de 160 km/h.
14. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
15. Bon, alors je cherche une formule qui puisse s'appliquer à ça...
16. On me demande où, qui est la distance; puis le temps.
17. On donne la vitesse du train de Montréal vers Toronto qui est
18. Le temps d'abord c'est une heure.
19. Bon, la vitesse c'est 120 km/h.
20. Puis l'autre train lui, au même moment, ça veut dire $t=0$
21. Se dirige vers Montréal... à, qui est égal à 120 km/h.
22. Bon, je pense que je vais me faire un dessin, ça va aller mieux.
23. Alors je fais 2 voies parallèles comme on dit, je marque Montréal en direction de Toronto et l'autre bord, Toronto en direction de Montréal.
24. Bon, le train qui part celui qui s'en va vers Toronto, c'est à 160 km/h.
25. Puis c'est 120 km/h au temps égal 0.
26. Bon, alors si la vitesse est uniforme, l'accélération est nulle.
27. a est égal à 0.
28. On n'a pas besoin de se soucier de l'accélération.
29. Donc, ...
30. Je relis un autre passage celui où on dit que: un train quitte Montréal à une heure.
31. Pour le moment, ça ne me dit pas grand chose, une heure...
32. Ah! oui! il y a un endroit que j'ai oublié, mon Dieux, il nous donne la longueur du chemin de fer qui est de 600 km, ça va m'aider.
33. Bon, o.k., dans ce cas là, je vais prendre...

34. Vu qu'on n'a pas besoin de se soucier de l'accélération, je vais marquer d est égal à vt.
35. C'est-à-dire, on cherche pour le moment le temps qui est
36. Il faut que j'isole le temps qui pourra donner d divisé par la vitesse.
37. Alors je marque 600 km divisé par la vitesse du premier train qui est 160 km/h.
38. Bon, je prends ma calculatrice.
39. Bon, ça veut dire que le temps, le temps pour traverser tout ça, ça donnerait 3,3 s, 3,8 secondes.
40. Ah oui, c'est des km/h, il faudrait que je mette cela en m/s.
41. Bon il y a 1000 m dans un kilomètre.
42. Cela veut dire que je vais faire 160 fois mille, donne 160 000.
43. Je vais transformer mes heures en secondes.
44. Ça veut dire que dans une heure, il y a 60 minutes à 60 secondes.
45. C'est 60 fois 60, 3600 secondes.
46. Je vais simplifier cela, je vais enlever les zéros.
47. Ça donne 160 m par 36 s, je mets tout ça en secondes. Ça fait...
48. Non, je pense que ce n'est pas une bonne idée, je vais laisser ça comme avant, après tout!... ..
49. Observateur: peux-tu nous dire à quoi tu penses?
50. J'essaie de trouver une formule, j'ai l'impression que je ne connais rien dans celui-là.
51. Comment j'essaie de penser, chacun va à sa vitesse il faudrait qu'ils se croisent.
52. C'est sûr, ça ne sera pas dans le milieu, il y en a un qui va plus vite que l'autre, mais...
53. Est-ce qu'on peut essayer de passer à un autre problème?
54. Observateur: certainement.
55. Relecture.
56. Relecture.
57. Relecture.
58. Bon, donc je pense que je vais regarder encore dans mes notes, on a un problème qui ressemble à ça...
59. Je vais essayer de le retrouver...
60. Dans le problème qu'on a fait, il y avait la formule quadratique...
61. Ah bon! c'est ici...
62. Ce n'était pas la même chose.
63. Le problème c'était quelle sera la vitesse du train de passagers.
64. Ce n'est pas ça.
65. Le conducteur d'un train de passagers filant à 30 m/s, aperçoit soudainement sur la même voie que lui, à 1,8 fois 10^2 m en avant, un train de marchandises filant à la vitesse constante de 9 m par seconde dans le même sens.
66. Il applique les freins immédiatement et la vitesse du train diminue au rythme de ...

67. Ça lui ressemble mais ne n'est pas cela, il y a une décélération là-dedans.
68. Non... alors on a la distance qui est 600 km.
69. La vitesse de un qui est de 160 km/h.
70. Puis l'autre c'est une vitesse de 120 km/h...
71. Je suis capable de trouver le temps avec ça.
72. Puis avec le temps peut-être que je pourrais arriver à quelque chose...
73. Non...
74. Donc, v est égal à d divisé par t , donc t est égal à d divisé par la vitesse.
75. Je ne sais pas si ça va me servir à quelque chose, mais au moins je ne perds rien à essayer.
76. Cela fait que 600 km divisé par le premier train c'est 120 sa vitesse, 120 km/h.
77. J'enlève les zéros, ça fait 6 sur 16 divisé par 2, 3 l'autre divisé par 2,8 le temps c'est 3 sur 8.
78. Je vais diviser 3 par 8.
79. Bon, le temps c'est 3,8, non qu'est-ce que je fais là, c'est 0,38.
80. Pour le premier train, lui pour faire toute la distance, le temps que ça lui prendrait serait de..., ça n'a pas de sens...
81. J'ai marqué 1600.
82. Ça change tout.
83. C'est-à-dire que ça fait 60 divisé par 16.
84. Alors, 60 divisé par 2 donne 30; 16 divisé par 2 donne 8; alors 30 divisé par 8 ça donne 5.
85. Ah! non! qu'est-ce que je dis là.
86. O.K., ça arrive, 3,75 ah oui, ce sont des heures.
87. O.K., ça veut dire que ce sont plutôt des heures
88. 3.75 heures, je vais arrondir encore plus 3,8 Bon...
89. Mon premier ça lui prendrait 3,8.
90. Mon deuxième je vais essayer de trouver.
91. Alors 600 divisé par 120: 60 divisé par 12; ça donne 5,0 heures.
92. Alors le deuxième ça lui prendrait 5 heures.
93. C'est normal, il va quand même moins vite; alors jusqu'à date, cela a du bon sens...
94. Alors je cherche une relation mathématique.
95. Donc le temps...
96. Bon, j'ai la vitesse, la distance et le temps.
97. Le temps, la distance, j'ai pas l'accélération, elle est nulle.
98. Ça veut dire une vitesse constante, bon ça veut dire qu'il n'y a aucune accélération.
99. Bon, c'est ça, il faut trouver une formule sans accélération.
100. On cherche où et quand se croiseront-ils?
101. C'est sûr que ça va être plus près de Toronto que de Montréal, vu que le train allant vers Toronto est plus rapide.

102. On ne peut pas mettre la moitié du temps, les deux ont chacun leur temps, puis ils n'ont pas la même vitesse...
103. Qu'est-ce que je pourrais trouver, $v_F - v_I$, ça ne marche pas...
104. Bon, cela n'a aucun sens, sinus de \ominus , ça ne marche pas, on enlève ça.
105. Celle-là, l'accélération on l'oublie, celle-là aussi.
106. Où et quand? Cela veut dire quand, on cherche le temps, où, la distance.
107. Je vais me faire un dessin.
108. Lui s'en va dans cette direction là, 160 km/h, son temps c'est 3,8 heures pour faire son trajet qui est de 600 km.
109. L'autre, c'est dans l'autre direction à 120 km/h, le temps 5 heures...
110. Je viens de me rappeler, il me semble qu'il y a quelque chose dans l'examen, quelque chose qui ressemblait à ça.
111. Bon bien, peut-être avec des vecteurs, cela n'aurait pas de sens. On ne sait jamais.
112. Bon bien, je ne vois pas autre chose.
113. Est-ce que j'ai le droit d'utiliser ma règle.
114. Observateur: oui.
115. Bon, je vais essayer de me mettre une échelle quelconque...
116. Je vais marquer: 1 cm est égal à 10 km/h...
117. Non...
118. Mes voies sont parallèles, franchement c'est idiot mon affaire.
119. Ah! oui! mais à moins qu'en les additionnant chacun du sens opposé, il va rester un petit vecteur, celui-là représente la distance que ça va être...
120. Il me reste 4, 40 km/h, moins 40 km/h, c'est fou mon affaire.
121. A moins qu'en 1 heure, ils font 160 km et l'autre en 1 heure, 120 km.
122. Ça veut dire en une heure, ils se rencontrent à 40 km plus près de Toronto parce que l'un va plus vite, celui vers Toronto...
123. Bon je suis en train de réfléchir.
124. On cherche aussi le temps.
125. Là, j'ai trouvé, 40 km/h...
126. J'essaie de penser à ce que je peux faire, mais là vraiment, là on dirait que ça ne me sert à rien ce 40 km/h là...
127. De toute façon, 160 km dans une heure, 120 km dans une heure ils se croiseront au bout d'une heure, au bout de 40 km.
128. Ça veut dire 600 km au bout d'une heure, 40 km de l'autre côté 600 moins 40, alors il y a 560 d'un côté quand ils se rencontrent.
129. Le premier train a fait 160 km au bout d'une heure et l'autre en aurait fait 40 au bout d'une heure quand ils se rencontrent.

130. Ah bien oui, je pourrais trouver le temps si l'autre fait 160 km en une heure, alors 560 en combien de temps.
131. L'autre ça lui prendrait moins de temps que ça...
132. C'est une distance qui est 40 km en une heure, ça se trouve à être une vitesse mais 40 km...
133. Décidément, celui-là, il faudrait que je passe la nuit dessus.

PROTOCOLE DE 501-1 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de quarante, non de quatre secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.
5. O.K. je le relis...
6. Une auto de masse, on a la masse qui est égale à $2,0$ fois 10^3 kg.
7. La vitesse est égale à 108 km/h.
8. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
9. Ça veut dire une décélération constante, une accélération négative constante.
10. A la fin d'un intervalle de temps de 4 secondes.
11. Bon alors, le temps c'est 4 secondes.
12. La vitesse de l'auto est réduite de moitié.
13. Cela veut dire, si je dis que l'accélération c'est a , a sur 2...
14. Alors on cherche le déplacement, bon c'est d...
15. Il n'y a aucune formule avec la masse, donc je ne vois pas tellement à quoi ça peut servir.
16. Bon, je pense que je vais laisser tomber pour le moment.
17. Bon, la vitesse, 108 km/h, le temps 4 secondes, l'accélération qui est de moitié...
18. Non, c'est la vitesse de l'auto qui est réduite de moitié, pour moi, j'ai fait une faute.
19. C'est facile d'abord.
20. Ça veut dire que v_f est égal à 108 km/h et v_f , ça va être 108 divisé par 2... ça veut dire 54 km/h.
21. Je vérifie $54 + 54 = 108$, bon c'est ça.
22. O.K., ah bien là, c'est simple.
23. Alors on cherche la distance.
24. Alors je vais prendre $2ad$ est égal à v_f au carré moins v_i au carré.
25. Alors j'isole d , ça fait v_f au carré moins v_i au carré divisé par $2a$.
26. Ah! oui! mais je n'ai pas l'accélération...
27. Je vais regarder s'il n'y a pas une formule qui pourrait m'aider à trouver l'accélération avec ce que j'ai...
28. Ah bien oui. v_f moins v_i divisé par le temps, ça va me donner l'accélération.
29. Bon alors, je sais que la vitesse finale c'est 54 - 108, ça va me donner une accélération négative, mais c'est normale, c'est une décélération divisée par 4 secondes.
30. Bon l'accélération est égale à moins 3,5 m par seconde au carré.

31. Bon bien là, ça marche, alors d est égal à v_f au carré qui est 54 au carré moins 108 au carré divisé par 2 fois l'accélération qui est $-13,5...$
32. Ça me donne une distance négative, ce n'est pas supposé ça, j'ai fait une erreur.
33. Ah oui, je pense que j'ai oublié de mettre le moins devant mon accélération...
34. C'est ça, 324, c'est ce que ça donne.

PROTOCOLE DE 501-1 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weis, mon Dieu qu'est ce que c'est ça, Muller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de quatre mètres en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres, est-ce Weigand, en tout cas, aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?
4. De combien de mètres Weigand aurait battu Weissmuller, combien de mètres, s'ils avaient participé à la même course?...
5. Bon bien, il s'agit de trouver la distance, ah non, ça n'a pas de sens ça...
6. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 4 m en 4 minutes et 57 secondes.
7. Bon, on nous donne le temps 4 minutes et 57 secondes.
8. Je mettrai tout ça en secondes, tantôt.
9. La distance c'est 400 mètres.
10. Obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 mètres.
11. Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
12. Bon là, ça c'est 400 mètres, lui son temps c'est 4 minutes et 11 secondes.
13. Bon, j'essaie de trouver une formule, quelque chose.
14. On a le temps, la distance.
15. De combien de mètres?
16. Ça veut dire qu'on cherche aussi la distance...
17. Si je trouvais la vitesse des deux, peut-être avec ça, je pourrais la trouver.
18. Mon premier c'est 4 minutes, 4 fois 60 secondes, 240 plus 57, ce qui donne 297 secondes.
19. Je vais vérifier là, 4 fois 60 donne 240.
20. Bon, l'autre c'est la même chose, ça lui a pris 46 secondes de moins.
21. Bon, peut-être avec ça je pourrais...
22. 46 secondes.
23. Alors j'écris au bas de ma feuille tout ce que je trouve, ça peut toujours servir.
24. Le temps est égal à 42 secondes de moins que l'autre...
25. Bon, peut-être en trouvant la vitesse du premier ici avec le temps je trouve 42 secondes. Combien de mètres aurait-il pu faire pendant ce temps-là?
26. Ça me donnerait peut-être...
27. L'autre c'est 4 fois 60 lui aussi plus 11 secondes de plus, 251.
28. Bon...
29. La vitesse du premier, c'est la distance divisée par le temps.

30. Ça veut dire que c'est 400 m divisé par 297 secondes...
31. La vitesse est égale à 1,3; j'arrondis 1,35 m par seconde.
32. Bon, c'est bien des mètres au moins? Oui 400 mètres.
Bon...
33. Si je mets le temps, la vitesse de l'autre fois, le temps du deuxième, peut-être que ça va me donner la distance qu'il aurait eu le temps de parcourir pendant ce temps-là...
34. Non, je pense que je vais reprendre la vitesse du premier avec son temps.
35. Ah! non! c'est vrai, on sait quelle distance ça fait.
36. Bon, je vais prendre la vitesse du premier que vais multiplier par le temps du deuxième, ça va me donner la distance qu'il aurait fait pendant ce temps-là.
37. Comme ça, je vais savoir combien de ... avec quelle distance il a gagné par rapport à l'autre.
38. Je pense que c'est ça que je vais faire.
39. Donc, je vais faire 1,35 m/s fois 251 secondes.
40. Bon alors, ça me donne 338,9 m.
41. Cela a du bon sens.
42. Puis je fais le 400 m qui est la longueur, moins cette longueur là, ça va me donner par combien de mètres il a gagné.
43. Si j'arrondis là 338,9, je pourrais mettre 339, c'est encore plus simple.
44. Je soustrais...
45. Alors il aurait gagné avec 61 mètres.

PROTOCOLE DE 501-1 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné, sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan?
4. Je vais le relire pour mieux le comprendre.
5. Relecture.
6. Relecture.
7. Relecture.
8. Je regarde ce qu'on demande.
9. Premièrement, c'est la distance de la balle, celle qu'elle a parcourue.
10. Là, j'essaie de trouver une formule qui peut s'appliquer à ça.
11. Vu que je suis un peu nerveuse, je vais prendre mes notes pour chercher.
12. Bon, on a la vitesse qu'on sait. La vitesse initiale qui est égale à 4 m par s.
13. Le temps c'est 2 secondes.
14. Je vais relire un peu...
15. L'autre question c'est: quelle est la distance de la balle, 3 s après son départ du bas du plan.
16. Quelle est la vitesse de la balle 3 s après son départ.
17. Bon alors, je cherche une formule qui aurait la vitesse initiale avec le temps...
18. Là, je pense que là je sais...
19. Je vais faire d est égal à vt .
20. Je fais 4 m par s fois 2 s, la distance serait 8 m par s.
21. Bon, la deuxième question c'est: quelle est la vitesse de la balle 3 s après son départ du bas du plan.
22. Je vais faire v_f est égal à v_i .
23. Ah! c'est vrai! je n'ai pas l'accélération...
24. O.K., si je mets arbitrairement que l'accélération c'est 10 m par s².
25. Je vais prendre la formule qui est v_f est égal à v_i plus at .
26. Ah! à moins que je trouve l'accélération avec une formule, attendez...
27. C'est ça, si après 2 secondes, elle arrête de monter, ça veut dire que la vitesse finale est égale à zéro.
28. Je vais marquer la vitesse finale est égale à zéro.
29. Donc, la vitesse initiale est de 4 m par s.
30. Alors, 0 est égal à 4 m par s plus l'accélération qu'on cherche fois le temps qui est 2 s.
31. Là, je vais isoler l'accélération.
32. Donc, si j'envoie la vitesse initiale.
33. Non, je pense que le mieux c'est de prendre la formule avant que je mette les chiffres, ça va être plus facile.

34. Donc, je vais marquer v_f moins v_i divisé par le temps c'est égal à l'accélération.
35. C'est-à-dire, 0 moins 4, divisé par 2, égale l'accélération.
36. Ça veut dire que l'accélération est égale à moins 2 m par s^2 ...
37. Alors tantôt, j'ai trouvé que la distance était de 8 m, donc si je prends la formule d est égal à v_i fois t plus at^2 divisé par 2.
38. Je marque 8. Ah! Non ça ne marche pas.
39. On veut savoir la vitesse finale.
40. Ah oui, il y a 2 ad est égal à v_f au carré moins v_i au carré.
41. Alors je vais marquer, je vais isoler le v_f .
42. Ce qui me donne 2 ad plus v_i au carré égal v_f au carré.
43. Donc, 2 fois l'accélération qui est -2 m par s^2 fois la distance qui est 8 m, plus la vitesse initiale qui est 4m/s au carré, égale la vitesse finale au carré.
44. Je vais prendre ma calculatrice.
45. 2 fois 2d fois 8 fois 4 au carré.
46. Ce qui veut dire que v_f au carré égale -512.
47. Ça arrive à une réponse négative parce que j'ai oublié de changer l'accélération vu que c'est sur un plan incliné ça diminue.
48. Il aurait fallu que je marque plus, vu que c'est un signe négatif, il aurait fallu que je fasse le signe contraire.
49. Donc ça, plus 512, je fais la racine carrée.
50. C'est égal à 22,6.
51. En tout cas, j'ai fini pour celui-là.

PROTOCOLE DE 502-5 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 mètres seconde en 4 secondes.
3. Au moment même ou la seconde, où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m par seconde.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir en accélérant pour rejoindre le camion?
5. Si elle atteint une vitesse de 16 m par seconde en quatre secondes, ça veut dire que ...
6. Seize mètres par seconde en quatre secondes...
7. Le temps c'est 4 secondes, la vitesse c'est 16 m par seconde...
8. Le camion lui, fait 16 m par seconde...
9. Là, je vais prendre d est égal à vt , parce que dans les autres il y a $v \cdot t$ dedans, puis dans le problème, on ne me donne pas la vitesse initiale, ni la vitesse finale, ni la vitesse moyenne.
10. On cherche la distance, v c'est de 16 m par seconde multiplié par 4 secondes...
11. Elle devra atteindre une distance de 64 mètres... pour pouvoir rejoindre le camion.

PROTOCOLE DE 502-5 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemins de fer droites, parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à 13 heures et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croisent-ils?
5. La longueur c'est 600 kilomètres.
6. Quitte Montréal à 13 heures et se dirige vers Toronto, la vitesse est de 160 km/h.
7. Ça c'est le train de Montréal.
8. Le train de Toronto part à 13 heures avec une vitesse de 120 km/h...
9. Si la distance est de 600 km...
10. Observateur: peux-tu nous dire à quoi tu penses?
11. Je suis en train de penser à la formule que je vais prendre...
12. Je ne peux pas voir comment je ferais ça, parce que je n'ai pas le temps que ça prend...
13. Je vais prendre, je vais trouver le temps que ça va prendre.
14. Je vais prendre d est égal à vt .
15. Ça va faire t est égal à d sur v .
16. Là je fais 600 km/h divisé par la vitesse, c'est 160 km/h pour le train de Montréal.
17. Observateur: Peux-tu me dire pourquoi tu as pris d est égal à vt dans le paquet de formules que tu avais?
18. Parce que je veux trouver le temps.
19. Observateur: Mais pourquoi cette formule-là, pourquoi as-tu rejeté les autres?
20. Bien, parce qu'on n'a pas la vitesse initiale, on n'a pas la vitesse finale et on n'a pas de vitesse moyenne.
21. Observateur: Quand tu choisis une formule, j'aimerais ça que tu me dises pourquoi?
22. Ça va donner 3,75 heures, ça c'est pour le train de Montréal.
23. Pour le train de Toronto, 600 km divisé par 120 km/h.
24. Ça va donner 5 heures.
25. Ça va prendre 5 heures au train de Toronto et 3,75 heures au train de Montréal.
26. Ils vont se croiser après...
27. Moi je dis qu'ils vont se croiser après 1,25 heure.
28. Observateur: Pourquoi dis-tu cela?
29. Je dis cinq heures moins ... Là je prends le train de Toronto, lui ça va lui prendre plus de temps, parce qu'il va moins vite, puis le train de Montréal, ça va lui prendre moins de temps.
30. Je dis 5 heures moins 3,75 heures.

31. Mais je ne sais pas où ils vont se croiser par exemple.
32. Observateur: Tu ne sais pas où, pourrais-tu le trouver?
33. Je ne peux pas voir comment je ferais pour le trouver.
34. Il faudrait que je trouve le lieu, puis ...
35. Observateur: As-tu assez d'informations dans ton problème, d'après toi pour le trouver?...
36. Ils vont se croiser plus vers Toronto.
37. Observateur: Pourquoi dis-tu ça?
38. Parce que le train de Montréal, lui ça va lui prendre moins de temps, parce qu'il va rouler plus vite, il roule plus vite, il va prendre plus une grande avance.
39. Observateur: Serais-tu capable de trouver à quelle distance de Toronto ils se rencontreraient?
40. Non.
41. Observateur: Non, O.K., tu n'as pas d'idée?
42. Observateur: Si tu avais un examen, arrêteraistu là?
43. Oui.

PROTOCOLE DE 502-5 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ kg roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de 4 secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période ...
5. J'essaie de me rappeler les formules...
6. Je ne sais pas comment faire pour trouver la formule du déplacement ...
7. Observateur: Veux-tu une feuille de formules?
8. C'est ça, parce que là, on est rendu dans les affaires de planètes.
9. Observateur: Veux-tu que je te fournisse une feuille de formules?
10. Oui, s'il-vous-plaît.
11. Là, je vais prendre d est égal à vt .
12. C'est le déplacement qu'on cherche, on va faire la vitesse 108 km/h multiplié par 4 secondes.
13. Mais là, il faudrait que je mette les heures en secondes aussi.
14. Ça va faire 108 km par 3 600 secondes multiplié par 4 s.
15. Le déplacement va être de 0,12 km.

PROTOCOLE DE 502-5 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 mètres en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres Weigand aurait battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course? ...
4. Frank Weigand a pris 4 minutes 11, mais était-ce 400 m aussi?
5. Observateur: Oui.
6. Là, si 400 m est égal à 4 minutes et 57 secondes, 4 minutes et 11 secondes vont être égales à X.
7. Je vais mettre cela en secondes.
8. Ça fait 251 secondes.
9. 297 secondes sont égales à 400 m, 251 sont égales à ...
...
10. Il l'aurait battu de 73 mètres.
11. Il aurait fait 73 de plus.

PROTOCOLE DE 502-5 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné, sa vitesse initiale est de 4 m par seconde; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan?
4. Là, je vais prendre la formule d est égal à $v_i t$ plus $\frac{1}{2} a t^2$...
5. Non, ça pas d'allure...
6. Oui, O.K.
7. Là, on cherche la distance que la balle a parcourue.
8. Je vais faire v_i , c'est 4 m par s, multiplié par le temps, c'est 2 secondes, plus $\frac{1}{2}$ fois l'accélération, c'est 10 m par seconde carrée, multiplié par le temps au carré, ça va faire 4 secondes...
9. Après 2 secondes, elle avait parcouru 28 m.
10. Là, je vais chercher après 3 secondes.
11. Je vais prendre encore la même formule.
12. Quatre mètres par seconde, pour la vitesse initiale, multiplié par 3 s, plus $\frac{1}{2}$ fois 10 m par seconde carrée, multiplié par le temps au carré, ça va faire 9 secondes carrées.
13. La distance serait de 57 mètres.

PROTOCOLE DE 503-4 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4,0 secondes.
3. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?
5. Je vais essayer d'au moins placer mes variables.
6. Je sais que le temps est égal à 4 s en partant.
7. Et la vitesse finale qui devient constante... non ...
8. Autrement dit, elle est partie du point mort à 16 m/s.
9. Autrement dit, la vitesse à 4 s est à 16 m/s.
10. Donc avec ça, je pourrais ... trouver l'accélération de la voiture.
11. Avec la vitesse... avec la formule de l'accélération qui est égale à v sur t .
12. Donc, $v = v_2 - v_1$, dont le v_2 égale 16 m/s moins le v_1 qui est égal à 0 m/s parce qu'elle part à 0 m/s.
13. Ce qui ferait 16 m/s divisé par le temps t qui est égal au temps t_2 moins le temps t_1 , qui est égal, 4 s - 0 s, ce qui fait 4 s.
14. Donc, ça fait une accélération de 4 m/s².
15. Donc, je sais que l'accélération de l'auto est égale à 4 m/s² que sa vitesse après 4 s est égale à 16 m/s et que le temps est égal à 4 s.
16. Je sais aussi que la vitesse du camion est constante... la vitesse du camion est constante à 16 m/s...
17. Donc, je pourrais prendre la formule suivante: la distance égale la vitesse initiale fois le temps, multiplié par...
18. J'ouvrirais une parenthèse pour être plus explicite: l'accélération multipliée par le temps au carré, divisée par 2, fermez la parenthèse.
19. Donc, sachant que la vitesse initiale de l'auto est de 0 m/s, donc la partie de la vitesse de la formule, que la vitesse initiale fois le temps, s'annule à zéro.
20. Donc, il reste à la formule, la distance égale à l'accélération multipliée par le temps au carré divisé par 2.
21. Donc, vu que l'accélération est égale à 4 m/s² multipliée par le temps au carré, il y a une affaire qui ne marche pas...
22. Donc, avec la formule de la distance, je pourrais trouver seulement la distance que la voiture fait en 4 s.
23. Si je prends 4 s, donc je ferais 4 s au carré, le tout divisé par deux.
24. Ce qui ferait 4 m/s multiplié par 16 s² le tout divisé par 2, ce qui ferait la distance.
25. Autrement dit, la voiture en 4 s parcourt 32 m.

26. Et le camion en une seconde lui, parcourt 16 m, donc... sachant que ...
27. Bon, attends, comment dire cela.
28. Vu que l'auto parcourt 32 m en une seconde et que le camion parcourt 16 m, je pourrais faire comme une règle de trois.
29. Bien si en une seconde.
30. Bien, c'est dur d'expliquer mais je vois que ça prendrait 1/2 s à la voiture pour rejoindre le camion parce que le camion roule à 32, non le camion roule à 16 m et la voiture elle à 32 m en une seconde.
31. Donc à mon avis, si le ... donc elle ne prend pas 1/2 s parce que la voiture accélère aussi.
32. C'est ça le problème.
33. Faudrait que je trouverais le ...
34. A moins que je reprenne ma formule et que je mette le temps.
35. C'est parce que le temps on ne le connaît pas et la distance non plus.
36. Vitesse initiale, égale à zéro.
37. La distance du camion ...
38. Si je pouvais peut-être essayer la vitesse constante du camion dans la même formule.
39. Avec la distance qui est égale à la vitesse initiale qui est de 16 m/s.
40. Le temps, on ne le connaît pas.
41. On ne sait pas à quel temps, à quel endroit et de combien de mètres l'auto a besoin pour rejoindre le camion.
42. Je pourrais laisser la variable t plus l'accélération qui est nulle, il ne resterait rien que ça.
43. Ça ne tient pas debout cette affaire là.
44. Je pense que je suis parti sur le mauvais bord, certain, certain... ...
45. Je vais essayer une affaire, je vais essayer une petite affaire.
46. Je sais que la distance, si en 4 s., o.k.
47. La vitesse initiale qui est..., je pourrais reprendre la même formule avec les mêmes calculs de tantôt.
48. Puis j'ai fait même une erreur tantôt, j'avais dit 1/2 s parce que j'ai pris le temps à 4 s, en 4 s la voiture parcourait 32 m et le camion en une seconde parcourait 16 m.
49. Donc, en 4 s le camion aurait parcouru 64 m et l'auto 32...
50. Donc, distance 64, si je fais la même.
51. Je vais essayer une autre chose.
52. Si je sais que la distance du camion est égale à 64 m.
53. Que la vitesse initiale du camion est égale à ...
54. Je pourrais essayer avec la même formule, d est égal à v_{it} plus at^2 , vitesse initiale qui serait toujours de 16 m/s, fois le temps que l'on ne connaît pas, pour que l'auto se rende, plus l'accélération qui est constante ... t^2 .

55. Donc, si j'isole le temps. Ah ça n'a pas d'allure cette affaire là.
56. Je pense que je vais le recommencer au complet le problème, ça va peut-être m'aider.
57. Bon, je recommence.
58. Bon, je sais que la vitesse après 4 s de l'auto est de 16 m/s...
59. Et la vitesse du camion, elle est de 16 m/s, donc la vitesse constante vu que la vitesse est constante, la vitesse ne change jamais, elle reste à 16 m/s...
60. Ce sont toutes les mêmes réponses, mais ce n'est pas le même temps.
61. Autrement dit, en une seconde, lui parcourt 16, elle en prend 4.
62. Je pourrais peut-être essayer de trouver l'accélération de l'auto avec ma formule de $d = v_1 t + at^2/2$.
63. Donc, la distance après 4 s, est égale à 16 m. Non.
64. Elle parcourt 16 m/s, c'est ça le maudit problème.
65. Quelle distance a-t-elle parcourue...
66. Vitesse, accélération, Δt .
67. Bon avec ça, je vais essayer de trouver l'accélération avec une autre formule.
68. Je viens de m'apercevoir que ce n'est pas ça, qu'il fallait que je prenne.
69. Je sais que l'accélération est égale à Δv sur Δt .
70. Donc, Δv est égal à $v_2 - v_1$, donc ça fait 16 m/s - 0 m/s = 16 m/s le tout divisé par Δt qui est égal à $t_2 - t_1$ qui est égal à 4 s - 0 s ce qui fait 4 s.
71. Ce qui fait donc l'accélération est égale à 4 m/s².
72. Donc, l'accélération de l'auto est de 4 m/s². ...
73. Donc, peut-être si je mélangeais quasiment l'auto et le camion ensemble.
74. Je pourrais faire avec la formule $d = v_1 t + at^2/2$, la distance est égale à la vitesse initiale du camion qui est de 16 m/s multipliée par le temps qui est requis, qui est de une seconde, plus l'accélération de l'auto qui est de 4 m/s², multipliée par le temps au carré, qui est égal à 1 s², le tout divisé par 2.
75. Donc, les secondes se simplifient et elles s'annulent donc il reste 4 m, plus le 16 m/s multiplié par une seconde, donc les secondes se simplifient ça fait 16 m plus 4 m, donc la distance serait de 20m.
76. Si ça tient debout mon histoire, ça devrait être 20 m, la distance dont l'auto aurait besoin pour rejoindre le camion, qui lui roule à 16 m/s.
77. Je vais essayer de faire une preuve.
78. Si j'annulais la vitesse initiale du camion.
79. Sachant que la distance dont elle a besoin est de 20 m et ne connaissant pas la vitesse initiale du camion.
80. Je pourrais reprendre la même formule, pour voir si j'arriverais à la bonne réponse. Ce serait une preuve pour voir si mes calculs sont bons.

81. Donc, la distance qui est de 20 mètres, serait égale à la vitesse initiale que je ferais semblant de ne pas connaître, multipliée par une seconde.
82. Ce qui ferait vitesse initiale tout court, plus l'accélération fois le temps au carré, divisé par 2.
83. Ce que nous connaissons est 4 m.
84. Pour être certain, je peux le recompter.
85. L'accélération est de 4 m/s^2 multiplié par 1 s^2 , ce qui fait 4 m car les secondes se simplifient, divisé par 2, une chose que j'ai oubliée, une grosse erreur de calcul. J'ai oublié de diviser par deux, ce qui ferait deux.
86. Donc, ma réponse de la distance serait de 18 m.
87. Donc, je pourrais changer pour 2 m.
88. Donc, ce serait comme un petit problème d'algèbre, la vitesse initiale plus 2.
89. 20 m est égal à la vitesse initiale plus 2 m.
90. Je renverrais le 2 m de l'autre côté, ce qui ferait 20 moins 2, 20 m moins 2 m, donc la vitesse initiale serait de 18 m.
91. Non, la distance.
92. Non, j'ai encore oublié une chose, de changer ma distance par 18 et non de 20.
93. Donc, 18 moins 2, serait de 16.
94. Donc, si mon cheminement est bon, la distance dont l'auto aurait besoin, serait de 18 m.
95. Si mon cheminement, évidemment est bon!
96. Observateur: est-ce que tu penses qui est bon, c'est ça qui est important?
97. C'est ça, si je ne me suis pas trompé avec les formules; puis, j'ai eu beaucoup de misère avec celui-là.
98. J'arriverais à la conclusion qu'elle aurait besoin de 18 m pour atteindre le camion.

PROTOCOLE DE 503-4 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à 13 heures et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. Bon, premièrement, je sais que la distance entre Montréal et Toronto par les deux chemins de fer est de 600 km.
6. Si je la simplifie, si je la convertis en mètres, ça fait 60 000 m si je ne me trompe pas...
7. Donc, le train qui quitte Montréal est de 160 km/h, il roule à une vitesse constante de 160 km/h.
8. Ce qui fait 44,4 m/s ...
9. Le train qui quitte Toronto, lui roule à une vitesse constante de 120 km/h.
10. Je le transforme en m/s, ce qui fait 33,3 m/s.
11. Où et quand, donc je ne sais pas à quel endroit et à quel moment ils vont se rencontrer.
12. t est inconnu.
13. Donc, je prends la formule suivante, la distance est égale à la vitesse initiale du train un, qui a une vitesse constante de 160 km/h, multipliée par le temps qui est inconnu, plus l'accélération multipliée par le temps au carré, le tout divisé par 2.
14. Donc, encore une fois, je ne connais pas l'accélération.
15. Je la trouve avec Δv sur Δt .
16. Donc, v, je fais la vitesse ... ça ne va plus, ça ne marche pas.
17. Donc, vu que la vitesse est constante, l'accélération est nulle.
18. Donc, la formule devient: la distance que le train parcourt est égale à la vitesse initiale du train numéro 1, multipliée par le temps.
19. Donc, vu que la distance est de 600 km ou 60 000 m, ceci est égal à la vitesse initiale, autrement dit, à la vitesse constante de 44,4 m/s multipliée par le t. Donc, je laisse la variable t.
20. Donc, moi j'isolerais la variable t, comme en algèbre, donc je divise 60 000 m/s par 44 m/s. Non, ça ne marchera pas.
21. Non, c'est 60 000 m divisé par 44,4 m/s. Donc, les m se simplifient, s'annulent, il reste des secondes.
22. Donc, à mon avis, mon cheminement devrait être bon, parce qu'un temps est égal toujours à des secondes.
23. Donc, si je divise 60 000 m par 44,4 m/s, ça me fait un total de 1 351,3 s.
24. Donc, pour se rendre de Montréal à Toronto, le train numéro un aurait besoin de 1 351,3 s évidemment à une vitesse de 160 km/h.

25. Il faut que je trouve la même chose pour le train numéro 2, celui qui part de Toronto et qui va vers Montréal avec la même formule.
26. Ça fait 60 000 m qui est égal à la vitesse initiale, qui est de 33,3 m/s multipliée par le temps qui est inconnu.
27. Donc, pour trouver le temps, je divise 60 000 m par 33,3 m/s. Donc les m s'annulent, il nous reste des secondes. Ça me donne 1 802 secondes, si j'arrondis. Le temps qu'il lui faut pour se rendre de Toronto à Montréal... ..
28. Bon, à quel moment ... A quel moment...
29. Je ne sais plus quoi faire.
30. Je suis bloqué...
31. Si j'y allais d'une autre méthode.
32. Si je sais que pour une heure le train numéro 1 fait 160 km, puis en même temps, le train numéro 2 fait 120, je pourrais donner peut-être à peu près à quel moment, peut-être, à la seconde près.
33. Si je calcule 160 plus 120, ça me donnerait 280.
34. Autrement dit, en une heure, il y aurait 280 m de parcourus.
35. Autrement dit, si en 3 600 s, il y a 280 m de parcourus, donc en combien de s, autrement dit je fais une règle de 3. Combien de secondes prendra-t-il pour parcourir 600 m.
36. Ah! non! ce n'est pas ça, c'est 280 km. Autrement dit, c'est 600 km.
37. Donc, je multiplie 600 km par 3 600 s, ce qui est égal à une heure, donc 600 multiplié par 3 600 s, ça fait 2 160 000 divisé par 280.
38. Ce qui me ferait, si ma règle est bonne, ça donnerait un temps de 7 714 s.
39. Donc, il faudrait 7 714 secondes en temps pour que les deux trains se croisent.
40. Bon, où?
41. Donc, pour trouver où, à quel endroit entre Montréal et Toronto, autrement dit à combien de km de Montréal par exemple.
42. Je pourrais prendre la même formule que tantôt. Autrement dit, si j'ajuste mes variables, la distance est égale à la vitesse initiale qui est de 160 km fois le temps qui est de 7 714 s.
43. C'est parfait! Ça donne 760.
44. Non, ça pas d'allure encore. Je ne penserais pas être capable de le trouver de même.
45. Je vais l'essayer pareil.
46. La distance est de 600 km, 160, 60 000 m.
47. Le problème avec cette formule là, c'est que je connais toutes les variables.
48. Je connais le temps.
49. Ah! je peux faire une méthode plus simple que cela.
50. Je sais que le train qui va de Montréal à Toronto roule à une vitesse constante de 160 km/h ce qui fait 44,4 m/s.

51. Je sais avant qu'il croise le ..., il a besoin de 7 714 s pour croiser le train numéro 2 qui lui roule à 120 km/h.
52. Donc, si je multiplie les deux ensembles, 44,4 m/s multiplié par 7 714 s.
53. Je sais que les s se simplifient. Donc la distance sera en mètres.
54. Si je calcule: 44,4 multiplié par 7 714, ce qui fait 342 501 s.
55. Si je le transforme en heures.
56. Ça lui prendrait 95 heures ce qui, à mon avis, ne tient pas debout.
57. Non, excusez, ce ne sont pas des heures, je me suis trompé, ce sont des mètres.
58. Donc, la réponse serait égale à 342 501,6 m.
59. Donc, si je les convertis en km, je n'ai qu'à les diviser par mille, je tasse ma virgule de trois chiffres, ce qui fait...
60. Donc, ils se croiseront à 342,5 km de Montréal. Ce serait ma réponse finale pour la distance.
61. Et le temps requis serait de 7 714 secondes.

PROTOCOLE DE 503-4 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse, de masse $2,0 \text{ fois } 10^3$, roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin de l'intervalle de temps de 4 secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.
5. Premièrement, je sais que l'auto pèse 2 000 lbs.
6. Puis sa vitesse est à 108 km/h...
7. Je sais que pour la convertir en secondes, en mètres-seconde, je vais faire 108 fois...
8. Comment fait-on cela?
9. O.K., je sais que 108 km/h est égal à 30 m/s, comme vitesse.
10. La vitesse a diminué.
11. Le temps de décélération, je sais aussi que le temps de décélération est de 4 secondes.
12. La vitesse est réduite de moitié.
13. Autrement dit, la vitesse finale est réduite de moitié, donc 108 divisé par deux, ça fait cinquante quelque chose, 54 km/h.
14. Ce qui fait évidemment 15 m/s.
15. Là-dessus, il faut que je trouve le déplacement...
16. Observateur: qu'est-ce que tu cherches?
17. Je veux juste trouver mes variables, les vitesses.
18. Comme formule, je sais que pour trouver la distance parcourue, c'est égal à la vitesse initiale fois le temps, plus l'accélération multipliée par le temps au carré, divisée par deux...
19. Bon, vu que l'accélération est négative et que je ne connais pas l'accélération..., il faut que je la cherche, $\Delta v \text{ sur } \Delta t$.
20. Puis delta v, c'est $v_2 \text{ moins } v_1$.
21. O.K., il faut que je trouve l'accélération.
22. Pour trouver l'accélération, je fais $\Delta v \text{ sur } \Delta t$.
23. Autrement dit, pour trouver le Δv , il faut que je fasse la vitesse finale moins la vitesse initiale.
24. Ça veut dire 15 m/s moins 30 m/s, Δv sera égal à moins 15 m/s.
25. Puis, le t, c'est le temps final moins le temps initial donc, 4 s moins 0 s, est égal à 4 s.
26. Ce qui fait une accélération qui sera négative de moins $3,75 \text{ m/s}^2$.
27. Donc, connaissant toutes les variables, sauf la distance parcourue, le déplacement ou la distance, c'est la même affaire.
28. Donc, autrement dit, je change les variables par les chiffres.

29. Donc, la vitesse initiale qui était de 30 m/s, multipliée par le temps qui est à 4 s, plus moins 3,75 m/s², multipliée par 4 à la 2, ce qui fait 16 s², le tout divisé par deux, l'accélération et le temps au carré.
30. Donc, la première étape qui est la vitesse initiale multipliée par le temps, ça fait 120 m parce que pour le m/s et le 4 s, les secondes se simplifient, donc il reste des mètres. Ça fait 120 m, plus moins 3,75 multiplié par 16 s², ce qui fait moins 60 divisé par deux. Ça fait évidemment moins 30.
31. Autrement dit, le plus se change pour un moins, ce qui devient 120 m moins 30 m. Ça fait 90 m.
32. Donc, la distance parcourue est égale à 90 m.

PROTOCOLE DE 503-4 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres Weigand aurait battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?
4. Donc, la distance parcourue premièrement est égale à 400 m.
5. Le temps de Johnny est égal à 4 m et 57 s.
6. Le temps requis serait en secondes, 297 s.
7. Puis le temps de Frank est de 4 minutes, 11 secondes.
8. Ça fait 251. Le temps de Frank est de 251 s pour parcourir 400 m...
9. Par combien de mètres aurait-il battu Weissmuller?
10. Celui-là je pourrais peut-être faire une règle de trois.
11. Si Frank pour parcourir 400 m a pris 251 s, Johnny pour parcourir le même nombre de mètres a pris 297 s.
12. Donc, en 297, si Johnny avait eu la même vitesse que Frank, combien de mètres aurait-il fait en 297 s.
13. Donc, je ferais une règle de trois.
14. 297 s multipliées par 400 m...
15. Je le divise par 251 secondes.
16. Donc, si Johnny avait nagé à la même vitesse que Frank, en 297 s, il aurait parcouru 473,3 m.
17. Donc, vu qu'il nageait moins vite, comment pourrais-je expliquer cela.
18. Là, Frank l'aurait devancé de 73 m. Parce que s'il y a 400 m, on a juste à soustraire 473,3 moins 400.
19. Donc, ça donnerait 73,3 m, qu'il lui aurait resté à faire à ce moment précis.

PROTOCOLE DE 503-4 POUR C₆

1. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Et comme deuxième question, quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan.
4. Donc, je monte un plan incliné.
5. Sa vitesse initiale est de 4 m/s.
6. Je me fais un petit dessin, elle remonte, sa vitesse est de 4 m/s.
7. Puis elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
8. Quelle distance a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
9. Tu aurais une vitesse.
10. L'accélération sera négative vu qu'elle remonte.
11. La vitesse initiale est de 4 m/s et le temps où elle arrive au point mort est de 2 secondes.
12. Ne connaissant pas la distance, je pourrais encore prendre la même formule que tantôt.
13. Mais avant de prendre la même formule, il faut que je prenne la formule de l'accélération, pour trouver à quelle accélération, comment pourrais-je dire ça, la décélération de la balle, ce serait une accélération négative.
14. Donc, l'accélération est égale à Δv sur Δt .
15. Le Δv est égale à $v^2 - v_1$.
16. La vitesse finale est égale à zéro moins la vitesse initiale.
17. Ce qui fait -4 m/s, divisé par le temps car le t_2 est égal à 2 s moins 0 s, ce qui fait 2 s.
18. L'accélération serait égale à moins 2 m/s².
19. Je connais une autre variable.
20. Sachant ces données là, je peux prendre la formule suivante d est égale à $v_1 t$ plus at^2 sur 2.
21. Donc, la distance est égale à la vitesse initiale, qui est égale à 4 m/s, multipliée par le temps, qui est égal à 2 s, ce qui fait 8 m car les secondes se simplifient. La distance serait en mètres.
22. Pour le moment je suis bien parti.
23. Donc, plus le at^2 sur 2, l'accélération qui est de moins 2 m/s², multipliée par le temps au carré qui est égal à 2 s au carré, ce qui fait 4 s². Donc, les s² se simplifient, il me reste -8 mètres...
24. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue?
25. Il y a une affaire qui ne marche plus là.
26. Parce qu'elle me dit .
27. J'aurais peut-être fait une erreur de calcul en quelque part, parce que la réponse me donnerait zéro, ce qui serait à mon avis impossible.

28. La vitesse initiale 4 m/s.
29. Elle a besoin de 2 s.
30. La distance, on ne la connaît pas.
31. L'accélération non plus, je l'ai trouvée avec Δv sur Δt .
32. Donc, $\Delta v = v_2 - v_1$ qui est égal à 0 m/s, car elle s'arrête après 2 secondes, moins la vitesse de départ qui est égale à 4 m/s, ce qui fait -4 m/s.
33. Le temps est égal à 2 secondes.
34. Ça fait -4 divisé par 2, ça fait -2 m/s². Donc, l'accélération serait bonne.
35. La vitesse initiale multipliée par le temps, ça ferait 8 m plus l'accélération multipliée par le temps au carré.
36. Ah! une erreur de calcul ici, encore une fois!
37. J'ai oublié de diviser le at, l'accélération par le temps sur 2, ce qui ferait 4 m.
38. Donc, la distance serait 8 m - 4 m, ce qui fait 4 m.
39. Et selon mes unités, je peux voir qu'en simplifiant toutes mes unités, il ne me reste que des mètres.
40. Donc, mon cheminement serait bon.
41. Elle a eu besoin de 4 m, elle a parcouru 4 m en 2 s sur le plan incliné.
42. Maintenant je dois trouver la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan.
43. Elle remonte et elle redescend parce que le plan est incliné...
44. Sans prendre de formules, logiquement, si elle prend 2 secondes pour remonter et s'immobiliser, puis en ces 2 secondes là, elle parcourt 4 m...
45. Ça veut dire qu'elle reviendrait à son point de départ en 4 secondes.
46. Donc, à 2 secondes, ce qui serait une approximation en partant.
47. Vu qu'elle accélère, elle devrait être un petit peu plus loin qu'à mi-chemin.
48. Elle serait à mi-temps.
49. Donc, à trois, c'est-à-dire il faudrait que je trouve 2 m/s.
50. Vitesse finale est égale à vitesse initiale fois t.
51. 4 m/s fois 3 s.
52. J'ai un petit pépin là.
53. Je vais me faire juste un petit dessin, pour que je puisse comprendre, pour me donner des idées.
54. Elle a besoin de 2 s pour remonter, elle parcourt 4 m.
55. Pour redescendre, 3 s, elle accélérerait.
56. A mon avis, si après 2 s, elle revient au point mort, autrement dit, en haut du plan incliné.
57. Il lui reste une seconde à parcourir pour 3 s.
58. Donc, je pourrais reprendre la même formule et changer le temps de 2 s pour 1 s.
59. La même formule, $d = v_1 t + at^2/2$.
60. Il faut que je trouve la vitesse de la balle en 3 s....
61. L'accélération, vu qu'elle redescend, l'accélération...

62. Je vais essayer de ...
63. Je sais que la distance est de 4 m ...
64. Si je me faisais peut-être un genre de triangle, autrement dit, un triangle rectangle.
65. Ou peut-être un triangle...
66. O.K., il faudrait que je rentre dans la trigonométrie pour le trouver.
67. Je connais juste 4 m.
68. Si je me construis peut-être un petit triangle rectangle.
69. Sachant qu'un triangle rectangle a un côté de 90. Le plan incliné serait l'hypothénuse qui serait de 4 m.
70. J'essaie de trouver la distance horizontale, qu'elle aurait parcourue. Autrement dit, 4 m vers le plan incliné mais cela aurait été à l'horizontal.
71. J'aurais tracé une ligne verticale qui trancherait sur l'horizontal entre le point de départ et le point d'arrivée. Combien y avait-il de mètres?
72. Je pourrais faire le sinus de 90° , égale à 4 m, côté opposé sur l'hypothénuse.
73. Ça ne tient pas debout ça encore. Ah non!
74. Ça serait le cosinus qu'il faudrait que je prenne.
75. Le cosinus de 90° égal au côté adjacent sur l'hypothénuse.
76. La distance que je cherche, je mets x sur 4, donc le cosinus de 90° est égal à zéro. Ça se peut-tu? Bien oui. Ça ne marche pas.
77. Quelle est la vitesse de la balle 3 s après son départ du bas du plan...
78. Je pense que je vais recommencer une affaire.
79. Vu que j'ai pu répondre à la première question, la deuxième: quelle est la vitesse de la balle 3 s après son départ du bas du plan. Ça veut dire c'est du bas du plan.
80. Cela veut dire qu'après 3 s, elle aurait atteint une vitesse...
81. Je pourrais peut-être essayer une démarche, parce que tantôt j'ai trouvé l'accélération avec le Δv sur le Δt .
82. Sachant que je n'ai pas la vitesse et l'accélération, je la connais.
83. Vu qu'elle redescend, elle devrait avoir une vitesse de 2 m/s.
84. Mais à cause des vitesses gravitationnelles, ça peut entrer en jeu en ne connaissant pas l'angle du plan incliné.
85. Si j'avais connu l'angle, j'aurais peut-être pu la trouver.
86. Mais je n'ai pas l'angle.
87. Tout ce que je sais, c'est que la vitesse de remontée a été de 2 m/s, non de 4 m/s. Elle a pris 2 s.
88. Donc, à 3 secondes, elle redescendait le plan. Ça au moins je le sais.
89. Donc, si je prends du bas du plan, la vitesse serait négative, parce que la balle reviendrait sur ses pas.

90. Bon, la vitesse, l'accélération reviendrait à 2 m/s^2 vu qu'elle redescend.
91. Ce qui est égal à la vitesse que l'on ne connaît pas sur le temps.
92. Là, je ne sais pas si je devrais prendre 2, 3 ou 1 seconde car elle a pris 2 s pour remonter et il lui reste une seconde pour redescendre.
93. D'après moi, je devrais prendre peut-être la seconde qui lui reste.
94. Donc, ça me ferait un produit croisé.
95. Ça ferait $2 \text{ m/s} \times 1 \text{ s}$, non, ça serait 2 m/s^2 , ça ferait des m^3 . Ça n'a pas d'allure.
96. Il faut qu'il me reste des mètres par seconde.
97. Il faudrait que je le divise. Non, ce serait...
98. Là, si j'étais obligé de donner une réponse, je ne saurais plus quoi faire, je pourrais essayer de le diviser, même si d'après mon problème, je n'aurais pas le droit de le faire.
99. Il faudrait que j'isole ma vitesse.
100. J'ai juste à transférer mes choses, ce serait moins deux sur un.
101. O.K., correct, je viens de trouver ce qu'il fallait que je fasse.
102. Sachant que la vitesse sur une seconde, j'ai juste à transférer la vitesse.
103. $-v$ est égal à -2 m/s^2 sur 1 s. Il me resterait -2 m/s , là ce serait $-v$.
104. Pour trouver v , ce serait 2 m/s .
105. Donc, pour redescendre après trois secondes, elle redescendrait à une vitesse, si évidemment mon cheminement est bon, elle redescendrait à une vitesse de 2 m/s vu que la question demande du bas du plan, elle serait de -2 m/s .
106. Ce qui terminerait les deux questions de mon problème.

PROTOCOLE DE 504-3 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m par seconde.
3. Bon, sa vitesse est de 16 par s en 4 s, le temps 4 s.
4. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à une vitesse uniforme de 16 m/s.
5. Bon, le camion roule à une vitesse de 16 m/s.
6. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir en accélérant pour rejoindre le camion?
7. Quelle distance, je cherche la distance que l'auto devra parcourir en accélérant pour rejoindre le camion.
8. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4 secondes... au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion...
9. Hum
10. Je vais trouver l'accélération de l'auto...
11. L'accélération est égale à la vitesse finale moins la vitesse initiale sur le temps.
12. L'accélération égale la vitesse finale 16 m/s, moins la vitesse initiale, c'est zéro, divisé par le temps qui est de 4 secondes. Ça fait une accélération de 4 m/s².
13. J'ai l'accélération de l'auto.
14. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir en accélérant pour rejoindre le camion...
15. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir...
16. Il faut que je trouve la distance ...
17. La distance est égale à la vitesse initiale fois le temps, plus l'accélération fois le temps au carré divisé par deux.
18. La vitesse initiale c'est zéro, l'accélération 4 m/s² fois le temps qui est 4 s au carré, ça fait 16 s² divisées par 2.
19. Les secondes s'annulent, 16 fois 4 égale 64 divisé par 2, trente-deux.
20. Je pense que c'est 32 m.

PROTOCOLE DE 504-3 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer.
2. Montréal et Toronto sont reliés par deux voies de chemin de fer, droites, parallèles et longues de 600 km.
3. Un train quitte Montréal à une heure, à une heure et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante, une vitesse de 160 km/h.
4. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
5. Où et quand se croiseront-ils?
6. Observateur: que cherches-tu?
7. Je cherche une formule. Je ne me souviens plus du tout.
8. Observateur: Veux-tu que je te fournisse les formules?
9. O.K.
10. La distance égale vt.
11. La distance égale 600 km.
12. La vitesse 160 km/h.
13. Le temps, je ne l'ai pas.
14. Bon, d égale vt, le temps est égal à la distance sur la vitesse.
15. Le temps égale 600 km divisé par 160 km/h.
16. Je calcule.
17. Le temps égale 3,7 heures...
18. Observateur: que cherches-tu?
19. Je ne le sais pas, je pense que ça ne marche pas.
20. Observateur: ça ne marche pas encore? Qu'est-ce qui te fais dire ça?
21. Eh... Je ne vois pas ce que je pourrais faire ... J'ai trouvé le temps que ça lui prend pour parcourir les 600 km.
22. Puis on demande où les deux trains vont se croiser...
23. Observateur: Tu es mal prise? C'est ça que tu veux me dire.
24. Oui.
25. Observateur: Qu'est-ce que tu fais?
26. Là, je ne sais plus...
27. Je vais trouver, je recommence.
28. Je vais trouver la distance du train qui quitte Montréal.
29. Observateur: Est-ce si difficile que cela?
30. Je pense que non, c'est moi qui s'énerve.
31. Observateur: aimes-tu mieux que je me retire?
32. Bien non!
33. Bien voyons!
34. Un train quitte Montréal à 13h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h. Une vitesse constante.
35. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.

36. Où et quand se croiseront-ils?...
37. Où et quand?
38. Je trouve le temps et la distance ...
39. S'il roule à une vitesse de 600 km.
40. Bien non, une distance de 600 km il va à 160 km/h, ça va lui prendre 3,7 heures.
41. L'autre, ça lui prendrait: 600 divisé par 120.
42. 5 heures. Ça lui prendrait 5 heures à faire le même trajet.
43. Là, je suis mêlé.
44. Observateur: Tu es mêlé?
45. Ah oui.
46. Qu'est-ce que c'est ça?...
47. Observateur: Veux-tu qu'on change encore?
48. Je pense que oui, ça n'a pas d'allure.

PROTOCOLE DE 504-3 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ kg; bon, la masse est égale à 2 fois 10^3 kg, roule à 108 km/h une vitesse de 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de quatre secondes, un temps de quatre secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié. La vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Bon, v_1 égale 108, cela fait que la vitesse, la vitesse finale ça fait 108 divisé par 2, 54 km/h.
5. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.
6. Il faut que je trouve le déplacement de l'auto ...
7. Une auto de masse roule à 108 km/h, le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante...
8. Bon, il y a une décélération. Cela veut dire ...
9. C'est quoi v_m ?
10. Observateur: C'est la vitesse moyenne, je ne sais pas si votre enseignant a utilisé les mêmes symboles.
11. Bon...
12. Une auto de masse ... roule à 108 km/h, le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
13. A la fin d'un intervalle de temps de quatre secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
14. Donc à 4 s c'est 54.
15. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.
16. Je vais trouver la décélération...
17. Bon, l'accélération c'est la vitesse finale, 54 km/h moins la vitesse initiale, 108 km/h, divisée par le temps qui est 4 secondes.
18. 54 moins 108, ce qui fait, -54 divisé par 4.
19. La décélération est de $-13,5$ m par s^2 ...
20. Bon, il faut que je trouve la distance.
21. O.K. La vitesse initiale, 108 km/h, fois le temps, 4 s, plus l'accélération, moins $13,5$ m par s^2 , fois le temps au carré, 16 s^2 , divisé par 2. Les secondes s'annulent, ça fait $13,5$ fois 16 ...
22. 216 divisé par 2, ça fait -18 m.
23. Puis ...
24. Si j'ai 108 km dans une heure, 108 km dans 3 600 secondes, dans une seconde j'en ai combien?...
25. Ça fait 108 divisé par 3 600.
26. 108 km, ça fait 108 000 divisé par 3 600.
27. Ça fait 30 m par seconde.
28. Puis 30 fois 4, ça fait 120 mètres.
29. 120 m moins 18, ça fait 102 ...
30. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période.
31. 102 mètres.

PROTOCOLE DE 504-3 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. C'est 400 m là-aussi.
4. De combien de mètres Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?
5. Bon. De combien de mètres, je cherche. Combien de mètres ...
6. Bon, je vais tout transformer cela en secondes. Ca fait 4 fois 60, ça fait 240 plus 57, 297.
7. Ça fait 297 secondes.
8. Pour l'autre, 4 fois 60, 240 plus 11, ça fait 251 secondes.
9. Si Weissmuller a fait 400 m en 297 s, dans une seconde, il en faisait combien?
10. 400 divisé par 297.
11. C'est-à-dire 1,3 mètre par seconde.
12. Tandis que Weigand a fait 400 mètres en 251 secondes, en une seconde, il en faisait combien?
13. 400 divisé par 251.
14. Il faisait 1,5 mètres par seconde.
15. Là, je cherche Weigand, il a fait en ...
16. Weigand, ça lui aurait pris 46 secondes de moins que l'autre.
17. Puis il fait 0,2 mètre par seconde de plus que lui.
18. Ça fait 0,2 fois 46.
19. La réponse est 9,2 mètres.

PROTOCOLE DE 504-3 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné ... sa vitesse initiale est de 4 m/s.
2. Vitesse initiale égale 4 m/s.
3. Elle s'arrête sur le plan incliné après un temps de 2 secondes.
4. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
5. Là, je trouve la distance.
6. Quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan?
7. Quelle est la vitesse de la balle après 3 secondes.
8. Il faut que je trouve la distance.
9. Elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue?
10. La distance égale la vitesse fois le temps.
11. La distance égale 4 m... Voyons...
12. Non, ce n'est pas ça.
13. Si ça monte, il y a une décélération.
14. Il faut que je trouve l'accélération.
15. L'accélération, c'est la vitesse finale moins la vitesse initiale, ça fait 4 m/s divisé par le temps, 2 s.
16. L'accélération est égale à 2 m/s^2 .
17. La distance égale la vitesse initiale qui est de 4 m/s fois le temps, 2 s, plus l'accélération, moins 2 m par s^2 , fois le temps au carré, 4 s^2 , divisé par 2.
18. 4 fois 2, 8 mètres.
19. Moins 2 fois 4, 8 mètres divisés par 2.
20. Huit mètres moins 4 mètres.
21. C'est une distance de 4 mètres.
22. Puis il faut que je trouve la vitesse après 3 secondes.
23. Quelle est la vitesse après 3 secondes?
24. Bon, la vitesse finale, la vitesse finale au carré...
25. Ce sont toutes les bonnes formulés ça?
26. Je n'ai jamais vu celle-ci.
27. Observateur: Tu n'es pas obligé de l'employer.
28. Je vais la prendre pareille.
29. La vitesse finale au carré égale la vitesse initial au carré plus deux fois l'accélération et la distance.
30. Ça fait une vitesse initiale au carré, ça donne $16 \text{ m}^2/\text{s}^2$, plus 2 fois l'accélération, moins 2 m/s^2 , fois la distance...
31. Il faut que je trouve la distance après 3 secondes.
32. La distance égale la vitesse fois le temps, non c'est pas ça.
33. La distance est égale à la vitesse initiale, 4 m/s, fois le temps, 3 s, plus l'accélération moins 2 m/s^2 , fois le temps au carré, 9 s^2 , divisé par 2.
34. Ça fait 12 mètres moins 9 mètres; donc ça fait 3 mètres.

35. Si je reprends la formule de tout à l'heure et que je multiplie par la distance qui est de 3 m.
36. Ça fait moins $12 \text{ m}^2/\text{s}^2$ plus 16.
37. Ça fait 4 m^2 par s^2 la vitesse finale au carré.
38. Je fais la racine carrée.
39. La vitesse finale est de 2 m/s.

PROTOCOLE DE 601-5 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4 secondes.
3. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 6 m/s.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?
5. En 4 secondes, le t c'est 4 secondes.
6. Sa vitesse initiale c'est 16 m/s...
7. La vitesse finale, la vitesse initiale, ... mon accélération...
8. Δv égale a fois t ...
9. Observateur: Peux-tu tu nous dire ce que tu cherches?
10. Je cherche mon accélération.
11. Parce que je vais prendre la formule $d = 1/2 at^2$.
12. Là, j'ai mon temps, qui est 4 secondes et je cherche mon accélération...
13. L'accélération, ce serait 4 m/s².
14. 1/2 fois 4, fois 16 plus 64, je prends ma calculatrice.
15. J'ai 1/2 qui multiplie 4, mon accélération qui multiplie 16 qui est mon temps au carré, plus v fois t qui donne 64, ... 96.
16. Mon espace ça serait 96 m.

PROTOCOLE DE 601-5 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et de longueur de 60 km.
2. Un train quitte Montréal à 16h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 16 km/h.
3. Au même moment, une auto, une auto quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. Le train, son temps, il part à 13h avec une vitesse constante de 160 km/h.
6. Une autre auto se dirige vers Montréal avec une vitesse de 120 km/h.
7. Où et quand se croiseront-ils?
8. Lui fait 160 km/h, l'autre elle en fait 120.
9. Sur une longueur de 600 km... ça va lui prendre combien de temps ...
10. En 3,75 heures, ... ce train est sûrement le plus avancé.
11. Elle ça va lui prendre cinq heures.
12. Elle ça lui prend 5 heures, l'autre 3,75 ...
13. Ils vont se rencontrer à 1,25h de Toronto.
14. Où sur la piste ...
15. Admettons à 480 km de Toronto, bien je veux dire 480 km de Montréal.
16. A 1,25h avant d'arriver à Toronto.

PROTOCOLE DE 601-5 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse 2×10^3 kg roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de 4 secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période...
5. Il y a une auto avec sa masse... qui est de 2 000 kg.
6. Elle roule à 108 km/h.
7. Le conducteur applique les freins, il diminue, à la fin de l'intervalle de temps, de 4 secondes.
8. t est égal à 4 secondes.
9. La masse est égale à 2 000 kg.
10. La vitesse de l'auto est réduite de moitié.
11. La vitesse est de 54 km/s, au km/h.
12. Son déplacement...
13. 4 000 mètres par seconde.
14. On multiplie 4 secondes, la distance ... 206 km.
15. Le déplacement de l'auto serait de 206 km, 216 km.

PROTOCOLE DE 601-5 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 mètres en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres, Weigand a-t-il battu Weissmuller, s'ils avaient participé à la même course?
4. Moi, je ferais plutôt un genre de produit croisé.
5. Je prendrais 400 mètres, je mettrais mes minutes en secondes.
6. $240 + 57$, 297.
7. L'autre, 4 minutes 11 secondes, ça fait $240 + 11$, 251.
8. Là, je fais mon produit croisé.
9. Je prends ma calculatrice.
10. 400 multiplié par 251, divisé par 297, égale 338.
11. Je prendrais 400 moins 338, c'est égal à 61,9 mètres.
12. Ce serait ma réponse.

PROTOCOLE DE 601-5 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est sa vitesse, quelle est la vitesse de la balle trente secondes après son départ du plan?
4. Sa vitesse initiale 4 m/s, son temps 2 secondes.
5. Quelle distance après 2 secondes, quelle distance la balle a-t-elle parcourue?
6. Distance est égale à v fois t ...
7. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?...
8. Ça me donne 80 m/s pour la distance.
9. Sa vitesse... après 30 secondes du départ, ça fait une minute trente.
10. Sa vitesse, son temps est égal à 1,30 minute.
11. Ça veut dire que v va être égal à d sur t .
12. Ça va être égal à 80 sur 1 minute trente, ... deux secondes, 1,5 seconde, non ... deux secondes, après trois secondes.
13. Quelle est la vitesse de la balle après 3 secondes.
14. 80 mètres en 2 secondes, en 3 secondes ... 120 sur 3 ...
15. Sa vitesse...
16. Ça, c'est 4 mètres, quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
17. C'est 8 mètres par seconde et sa vitesse après 3 secondes, ça va être 12, 12 mètres par seconde.

PROTOCOLE DE 602-1 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4 secondes.
3. A un moment, à ce moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?
5. Nous allons maintenant mettre toutes nos données dans un tableau.
6. La voiture atteint une vitesse de 16 m/s, dans un temps de 4 secondes.
7. On va calculer son accélération.
8. On a un camion qui roule à vitesse uniforme de 16 m/s ...
9. Pour pouvoir trouver la distance parcourue, je vais avoir besoin du temps que ça va lui avoir pris pour rejoindre le camion.
10. Avec mon accélération, on va être capable de trouver la distance.
11. Commençons par trouver l'accélération.
12. L'accélération, c'est la différence de vitesse sur le temps.
13. La différence de vitesse se trouve à être de 16 m/s, le temps 4, donc l'accélération de 4 m/s^2 ...
14. La distance que l'auto va avoir parcourue pendant ces 4 secondes.
15. La distance va être égale à la moitié de l'accélération multipliée par le temps au carré.
16. La vitesse initiale étant 0, on peut omettre de l'inscrire.
17. En remplaçant nos variables, ça nous donne divisé la moitié de 4 multipliée par 16, ça nous donne une distance de 32 m: 32 m en 4 secondes pour l'auto.
18. Le camion pour ces mêmes secondes aura parcouru 64 mètres...
19. On va faire un rapport.
20. Bon, je connais l'accélération, l'accélération de l'un.
21. Il faut que je trouve le temps pour pouvoir arriver à faire un rapport.
22. Le temps est égal pour les deux.
23. Le temps est pareil pour les deux, donc on peut utiliser la même variable ...
24. La vitesse du camion est de 16 m/s, ce qui va nous aider à trouver la distance parcourue.
25. Pour l'auto, pour trouver la distance parcourue, on se sert de la formule $1/2$ de l'accélération multipliée par le temps au carré.
26. Pour le camion, on utilise la vitesse multipliée par le temps.

27. Donc, il faut qu'on ait nos deux rapports égaux pour savoir à quel moment l'auto va avoir rattrapé le camion..
28. Donc, on peut dire que la moitié de l'accélération multipliée par le temps au carré est égale à la vitesse du camion multipliée par le temps.
29. Si je remplace les valeurs que j'ai, je vais être capable de trouver le temps ainsi que la vitesse, la distance parcourue ...
30. En remplaçant mon temps par la variable x , j'obtiens $2 x^2$ est égal à $16x$.
31. Je peux diviser les deux membres par deux pour simplifier.
32. x^2 est égale à $8x$.
33. Si je divise par x les deux membres, j'obtiens x est égal à 8.
34. Donc, ça prend 8 secondes à l'un pour rattraper l'autre.
35. Donc, si on prend le camion, la distance est égale à sa vitesse multipliée par le temps.
36. Sa vitesse de 16 m/s multipliée par 8 s, ça devrait normalement me donner la distance que les deux véhicules ont parcourue.
37. Qui serait de 128 m.

PROTOCOLE DE 602-1 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à 13h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. On va noter nos données dans un tableau.
6. La distance totale est de 600 km ...
7. La vitesse du train numéro 1 qui part de Toronto est de 160 km/h.
8. La vitesse du train qui se dirige vers Toronto est de 160 km/h.
9. Le train qui quitte Toronto, sa vitesse est de 120 km/h.
10. Ce sont toujours des vitesses uniformes.
11. On veut savoir où et quand ils se croiseront.
12. Donc, la distance totale pour les deux trains est de 600 km.
13. On cherche le temps qui devrait être égal pour les deux.
14. La distance parcourue, pour chacun des trains, va être différente...
15. La distance parcourue va être égale à la vitesse multipliée par le temps.
16. Si on remplace nos valeurs: la distance totale c'est la distance du premier train plus la distance du deuxième train.
17. Donc, c'est la vitesse du premier train avec le temps du premier train plus la vitesse du deuxième train multipliée par le temps du deuxième train en sachant que les deux temps sont identiques.
18. Ça égale 600 km.
19. Je remplace mon temps par la variable x , c'est le temps que je veux trouver en faisant cette démarche.
20. En terminant mon calcul, je suis capable de trouver le temps qui est égal à 2,14h.
21. Je sais quand ils vont se croiser.
22. Ils vont se croiser vers 15h et 14 centièmes de minute.
23. Quatorze centièmes de minute c'est égal à 8 minutes.
24. Ils se croiseront à 15h et 8 minutes.
25. Le premier train aura parcouru 342,4 km et le second train 256,8 km.
26. A cause de mes arrondissements, ça n'arrive pas exactement à 600 km.

PROTOCOLE DE 602-1 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse $2,0 \text{ fois } 10^3 \text{ kg}$ roule à 108 km/h .
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de 4 secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période...
5. On va commencer par marquer tous les renseignements qu'on a.
6. Il y a une accélération négative.
7. On a un intervalle de temps de 4 secondes.
8. La vitesse finale est diminuée de moitié, donc de 54 km/h ...
9. Avec les renseignements qu'on a, on est capable de trouver l'accélération.
10. En utilisant la formule de la vitesse finale est égale à la vitesse initiale plus l'accélération multipliée par le temps ...
11. En isolant notre accélération, on a notre vitesse finale moins notre vitesse initiale divisée par le temps.
12. Le temps est de 4 s, la vitesse finale de 54 km/h , la vitesse initiale de 108 km/h ...
13. Ça nous donne une accélération négative de $-13,5 \text{ m/s}^2$.
14. Avec l'accélération et le temps, on est capable de trouver la distance en multipliant l'accélération par le temps.
15. Normalement, il aurait parcouru une distance de 54 m .

PROTOCOLE DE 602-1 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?...
4. Je vais commencer par trouver à quelle vitesse les deux ont fait la distance ...
5. En premier lieu, je vais tout mettre en secondes, pour que ce soit plus facile à compter.
6. Quatre minutes 57 secondes, ça fait ... 297 secondes.
7. Si on met le 400 mètres sur le 297 secondes, ça va nous donner notre vitesse.
8. Une vitesse de 1,347 m/s pour le premier.
9. Le deuxième, son temps est de 4 minutes 11 secondes. Ça lui fait 251 secondes.
10. Pour le ... 251 secondes pour le même 400 mètres.
11. Ça va lui faire une vitesse de 1,594 m/s.
12. Si je prends la différence de temps ...
13. Si je prends la différence de temps, que je la multiplie par le plus rapide, ça devrait me donner la différence entre les deux.
14. Il aurait dû y avoir une différence de 73 m, d'un peu plus de 73 mètres.

PROTOCOLE DE 602-1 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan?
4. On met toutes nos données dans un tableau.
5. La vitesse initiale, 4 m/s, la vitesse finale de 0 m/s, , le temps est de 2 secondes.
6. On cherche la distance ... sa vitesse après 3 secondes.
7. C'est donc dire que la balle est repartie, a monté et est redescendue.
8. C'est la vitesse de retour.
9. On va commencer par trouver la distance que la balle a parcourue.
10. Pour ça, j'ai besoin de l'accélération.
11. Pour trouver l'accélération, je suis capable de la trouver en utilisant la formule: la vitesse finale est égale à la vitesse initiale plus l'accélération multipliée par le temps.
12. En isolant mon a, j'ai: la vitesse finale moins la vitesse initiale, divisée par le temps est égale à l'accélération.
13. Ma vitesse finale de zéro, ma vitesse initiale de 4, mon temps de deux, ça me fait une accélération négative de 2...
14. Pour trouver la distance, on utilise la formule: la distance est égale à la moitié de l'accélération multipliée par le temps au carré, plus v fois t.
15. Je remplace les variables par les valeurs que j'ai obtenues.
16. La distance serait de 12 mètres, de moins 12 mètres.
17. La balle aurait parcouru 12 mètres sur le plan.
18. Maintenant, il me reste à trouver la vitesse après 3 secondes.
19. En schématisant le problème, la balle monte pendant 2 secondes, parcourt 12 m.
20. Normalement, après s'être arrêtée, elle aurait normalement dû repartir dans le sens inverse.
21. On veut avoir son temps après 3 secondes.
22. Là, j'ai besoin de calculer l'accélération du retour...
23. Observateur: cherches-tu quelque chose en particulier?
24. Je cherche une méthode pour le faire.
25. Pour calculer l'accélération de retour, qui ne sera pas la même que l'accélération de l'aller, il faut que je la calcule.
26. Je suis capable de trouver l'angle du plan...
27. Avec l'angle, est-ce que je serais capable de trouver l'accélération pour le retour? ...

28. Je sais pour le retour que ma vitesse initiale est égale à zéro.
29. Pour obtenir la vitesse finale, je me dois de trouver l'accélération car j'ai le temps ...
30. Je sais que l'accélération va être positive...
31. Le temps se trouve à être de 1 seconde, parce qu'elle a pris 2 secondes pour monter.
32. La vitesse finale va être égale à l'accélération.
33. Mon accélération ...
34. La vitesse finale devra être 4 m/s...
35. Rendue à sa troisième seconde, la vitesse devra être de 4 m/s.

PROTOCOLE DE 603-5 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4,0 secondes.
3. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?...
5. La vitesse initiale de l'auto est zéro.
6. La vitesse finale est 16 m/s.
7. Le temps c'est 4 secondes ...
8. Pour le camion, bien, la vitesse initiale est zéro aussi.
9. La vitesse finale est ...
10. Non, ça ne marche pas mon affaire...
11. Ça ne marche pas...
12. Observateur: pourquoi ça ne marche pas?
13. Je ne le sais pas...
14. Observateur: veux-tu me dire ce que tu essaies de faire?
15. J'essaie de me rappeler comment on le fait...
16. Observateur: o.k., c'est ça que j'aimerais que tu nous dises.
17. C'est ça que je ne sais pas.
18. Observateur: tu ne le sais pas, tu essaies de te le rappeler...
19. Bien, pour trouver l'accélération de la voiture, je vais faire la variation de vitesse sur la variation de temps...
20. Faut-il que je te donne la réponse aussi?
21. Observateur: oui, s'il-te-plaît.
22. O.K., pour l'accélération, ça égalerait à 4 m/s^2 .
23. Là, bien je pense que j'appliquerais la formule: la distance égale $1/2$ de at au carré.
24. Observateur: veux-tu l'appliquer s'il-te-plaît...
25. O.K., ça me donnerait 32.
26. Ça me donnerait 32 m.

PROTOCOLE DE 603-5 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à 13h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. La distance ça serait 600 km.
6. La vitesse du premier train, c'est 160 km/h.
7. La vitesse du deuxième train, c'est 120 km/h.
8. Je ne sais pas comment le faire ...
9. Observateur: à quoi penses-tu?
- 10.. Comment le faire, je ne le sais pas ...
11. Bien, le temps 13 heures ...
12. Je ne le sais pas.

PROTOCOLE DE 603-5 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse 2 fois 10^3 roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin d'un intervalle de temps de quatre secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période...
5. Je marque les données qu'il nous donne.
6. La masse de l'auto c'est 2 fois 10^3 kg.
7. La vitesse 108 km/h...
8. Le temps c'est 4 secondes ...
9. Bien, d'après moi, la masse n'a rien à voir là-dedans...
10. Observateur: es-tu capable de me dire ce que tu essaies de faire?
11. C'est parce que là, je me demande si j'ai besoin de mon accélération parce qu'il ne me la donne pas...
12. Peut-être pour trouver mon accélération, car ils disent qu'elle est diminuée de moitié, bien je fais comme la variation de vitesse sur la variation de temps.
13. Je vais prendre 108 ...
14. Là, je vais le diviser par 2 ...
15. Ça fait 108 moins 54, ça me donnerait 54 sur 4 secondes...
16. Ça me donne une accélération de 13,5 ...
17. O.K., là je vais prendre la formule, bien le déplacement ou la distance est égale à $1/2$ de $at^2 + v_{it}$...
18. O.K., ça va me donner 108 + 432, ça me donnerait que le déplacement serait de 540 ...
19. C'est pas ça qu'il fallait que je fasse.
20. Il fallait que je mette ma vitesse en mètres par seconde...
21. O.K., je vais multiplier 108 par 1 000 ...
22. Je vais le diviser par 3 600 ...
23. Ce qui me donne pour la vitesse 30 m/s ...
24. Là, je pense que je vais changer de formule.
25. Je vais prendre la distance est égale à la vitesse fois le temps.
26. Ça fait $30 \times 4 = 120$ m/s. Ah! 120 mètres.

PROTOCOLE DE 603-5 POUR LE PROBLEME C4

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400m en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand, je ne sais pas si c'est comme cela que ça se dit, obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?
4. O.K., la distance c'est 400 m.
5. Le temps 4 minutes 57 secondes.
6. Ça, je vais le transformer tout de suite en secondes ...
7. Ça me donnerait 297 secondes.
8. Ça, c'est mon premier temps.
9. Mon deuxième temps est 4 minutes 11 secondes. Si je mets tout en secondes, ça me donne 251 secondes ...
10. J'ai le même espace pour les deux nageurs...
11. Observateur: Peux-tu nous dire à quoi tu penses?
12. Je ne sais pas comment le partir...
13. Bien, je vais trouver la vitesse du premier nageur.
14. Je vais faire, espace égale vitesse fois temps et je vais isoler ma vitesse.
15. Ça va faire l'espace divisé par le temps...
16. Ça va faire 400 m divisé par 297 s, ça me donne 1,35 m/s.
17. La vitesse du deuxième coureur, pas coureur mais nageur, ça va faire 400 divisé par 251 secondes.
18. Ce qui donne 1,59 m/s...
19. Là, je ne sais plus quoi faire.
20. Observateur: Pourquoi dis-tu: je vais prendre la formule l'espace égale la vitesse par le temps?
21. C'est pour trouver ma vitesse, j'avais l'espace et le temps, je pouvais trouver ma vitesse.
22. La vitesse...
23. Observateur: avais-tu une idée?
24. Je ne le sais plus...
25. Bon, je vais trouver ma vitesse moyenne...
26. Bien, je vais additionner mes deux vitesses et les diviser par 2 ...
27. Ce qui me donne 1,47 m/s ...
28. Observateur: A quoi penses-tu?
29. Je me demande si on a le droit de faire la même chose avec le temps que ce que j'ai fait avec ma vitesse.
30. Si je le fais, ça me donne un temps moyen de 274 secondes.
31. Mais je ne pense pas qu'on ait le droit de faire ça.
32. Observateur: Pourquoi penses-tu cela?
33. Bien, il me semble qu'on ne faisait pas ça. Je ne m'en souviens pas.
34. Il me semble que ce n'était pas ça qu'on faisait.
35. Si je le fais avec ça, bien je peux prendre ma formule espace égale la vitesse fois le temps.

36. Vitesse moyenne, qui est de 1,47 m/s fois 274 secondes...
37. Ça ne marche pas.
38. Observateur: Pourquoi?
39. Bien, parce que j'arrive plus que la distance.
40. Observateur: Tu arrives à combien?
41. 402,78
32. C'est-à-dire que peut-être si je faisais mon espace du début, mais plutôt la réponse que ça me donne moins l'espace que j'avais du début, ça me donnerait 2,78 m.
43. Ce serait ça l'espace.

PROTOCOLE DE 603-5 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas plan?
4. La vitesse initiale c'est 4 m/s, le temps c'est 2 secondes.
5. Je cherche la distance, ça fait que je vais faire l'espace égale la vitesse fois le temps.
6. 4 m/s fois 2 s, ça va égaler 8 mètres...
7. Après cela, je cherche à quelle vitesse elle va être après 3 secondes.
8. Donc, je vais chercher la vitesse finale. Son temps, ça va être 3 secondes ...
9. Observateur: Peux-tu me dire ce que tu penses?
10. Je cherche comment je vais faire pour trouver ma vitesse finale.
11. Il y a la formule vitesse finale égale la vitesse initiale plus l'accélération fois le temps, mais je n'ai pas l'accélération.
12. C'est ça, je me demande comment je vais le faire ...
13. Observateur: peux-tu nous dire à quoi tu penses?
14. Bon bien, j'essaie de me rappeler, je sais qu'on en a fait comme ça mais ...
15. Parce que je ne peux pas trouver mon accélération, si je n'ai pas deux vitesses.
16. Avec la formule que j'ai, je ne peux pas trouver ma vitesse finale si je n'ai pas l'accélération ...
17. Observateur: As-tu une idée?
18. Bien là, je me demande si avec la formule l'espace est égal à $\frac{1}{2} at^2 + v \text{ fois } t$, je pourrais trouver mon accélération avec ce que j'ai trouvé au début...
19. Ça me donnerait une accélération de 2 m/s².
20. Là, j'appliquerais la formule vitesse finale est égale à la vitesse initiale plus l'accélération fois le temps.
21. La vitesse finale c'est 4 m/s, c'est la vitesse initiale plus mon accélération de 2 m/s² fois 3 secondes.
22. Ça me donnerait 10 m/s.

PROTOCOLE DE 604-1 POUR LE PROBLEME C₁

1. Une voiture est immobile à un feu de circulation.
2. A l'instant où le feu vert s'allume, elle démarre et atteint 16 m/s en 4 secondes.
3. Au moment même où la voiture commence son accélération, elle est doublée par un camion roulant à la vitesse uniforme de 16 m/s.
4. Quelle distance l'auto devra-t-elle parcourir, en accélérant pour rejoindre le camion?
5. La voiture est immobile, ça veut dire qu'elle va avoir une accélération à partir de la vitesse zéro.
6. On va calculer l'accélération.
7. On a une variation de vitesse de 16 m/s et un temps de 4 secondes.
8. L'accélération est égale à la variation de vitesse sur le temps.
9. Ce qui donne 16 divisé par 4, 4 m/s² comme accélération pour l'auto.
10. Puis ensuite, elle est dépassée par un camion, vitesse uniforme de 16 m/s ...
11. O.K., c'est au temps zéro qu'elle est dépassée...
12. O.K., on va calculer la distance qu'il y a entre les deux véhicules au temps 4s, au moment où elle atteint 16 m/s...
13. Le temps est 4 secondes, ... la vitesse est 16 m/s, uniforme.
14. On cherche l'espace, la vitesse fois le temps.
15. Donc, 4 s fois 16 m/s, ce qui donne un espace de 64 mètres.
16. Ce qui veut dire qu'au temps 4 secondes, le camion est 64 mètres en avant de l'auto ...
17. En supposant qu'on part encore du temps zéro, où la voiture était immobilisée, on va calculer qu'elle a toujours la même accélération de 4 m/s².
18. Puis on va calculer ... le temps que ça va lui prendre pour rattraper le 64 mètres ...
19. Observateur: Peux-tu nous dire pourquoi?
20. Parce que le 64 m, le camion va être rendu plus loin, à ce moment là, au moment où elle va pouvoir le rattraper à cette accélération là.
21. Ça veut dire qu'elle va le rattraper en un espace plus grand que cela...
22. Que les deux distances devront être égales ...
23. Puis la distance est égale à la vitesse fois le temps.
24. Si on prend la vitesse et le temps du camion, on les multiplie, ça nous donne ... la vitesse fois le temps du camion est égale à l'espace de l'automobile, qui elle est égale à vitesse initiale fois le temps plus $\frac{1}{2} at^2$.
25. Puis la vitesse initiale fois le temps de l'automobile sont éliminés parce que la vitesse initiale est égale à zéro.

26. Ça veut dire que la vitesse fois le temps du camion est égale à $1/2$ fois l'accélération fois le temps carré de l'automobile.
27. Il s'agit d'isoler le facteur temps...
28. Les deux facteurs temps seront égaux.
29. Ce qui veut dire que ...
- 30.. t^2 égale à 2 fois la vitesse fois le temps divisé par l'accélération.
31. 2 fois la vitesse divisée par l'accélération est égale à la vitesse du camion...
32. C'est égal à t^2 divisé par t .
33. Ça veut dire, deux fois la vitesse du camion divisée par l'accélération de l'automobile est égale au temps.
34. 2 fois 16 m/s divisé par 4 m/s^2 est égal au temps.
35. Ça donne 32...
36. Le temps est égal à 8 s.
37. C'est le temps que va prendre l'automobile pour rattraper le camion.
38. O.K., si on reprend ... on peut prendre la vitesse...
39. Pour trouver l'espace, on prend l'espace est égal à $1/2 at^2$.
40. L'espace égale $1/2$ fois l'accélération de l'automobile, 4 m/s^2 multiplié par le temps carré qui est 8 secondes, 64 s^2 .
41. L'espace est égale $1/2$ fois 4 donne 2 m/s^2 multiplié par 64 s^2 .
42. Ça donne l'espace est égal à 128 m.
43. L'auto devra parcourir 128 mètres avant de rattraper le camion.

PROTOCOLE DE 604-1 POUR LE PROBLEME C₂

1. Supposons que Montréal et Toronto soient reliés par deux voies de chemin de fer droites, parallèles et longues de 600 km.
2. Un train quitte Montréal à 13h et se dirige vers Toronto avec une vitesse constante de 160 km/h.
3. Au même moment, un autre train quitte Toronto et se dirige vers Montréal avec une vitesse uniforme de 120 km/h.
4. Où et quand se croiseront-ils?
5. Je vais calculer le temps que ça prend à chaque train pour se rendre à destination.
6. O.K., on prend celui qui quitte Montréal à 13h avec une vitesse de 160 km/h ...
7. Observateur: A quoi penses-tu? Peux-tu nous le dire?
8. Pardon.
9. Observateur: A quoi penses-tu?
10. Je suis en train de penser à la distance qu'il y a entre les deux points...
11. On peut faire le rapport des vitesses.
12. Celui qui part de Montréal va à 160 km/h.
13. Celui qui part de Toronto va à 120 km/h.
14. Ce qui fait un rapport de 4 sur 3.
15. Ça veut dire que pendant que le train qui part de Toronto parcourt trois unités, celui de Montréal parcourt 4 unités.
16. Ça veut dire que le rapport des temps sera de trois quart, soit l'inverse.
17. Si on prend les deux voies, en partant de Montréal, la rencontre se fera ...
18. Observateur: As-tu des problèmes?
19. Oui.
20. Observateur: Lesquels?
21. A savoir avec le rapport de $\frac{4}{3}$ pour les distances, de trouver l'endroit sur la voie où ils vont se rencontrer...
22. Pendant que le train de Montréal parcourt 4 unités, celui de Toronto parcourt 3 unités.
23. Ça veut dire que la rencontre va se faire plus vers Toronto...
24. O.K., en supposant que le trajet soit divisé en 7 parties, la rencontre se fera aux $\frac{4}{7}$ à partir de Montréal; 3 parties parcourues par celui de Toronto, 4 parties par celui de Montréal.
25. Là on a la distance, il s'agit de trouver le moment ...
26. Là si on dit que c'était au $\frac{4}{7}$ à partir de Montréal, les voies sont longues de 600 km.
27. On trouve les $\frac{4}{7}$ de 600 km ...
28. Ce qui donne 342,86 km de Montréal.
29. Là, on a la distance de Montréal et la vitesse de 160 km/h, si on parle du train qui vient de Montréal.

30. Il s'agit de trouver l'espace.
31. L'espace on l'a, c'est le temps qu'on cherche ...
32. La vitesse est égale à la distance divisée par le temps.
33. Ce qui veut dire que le temps est égal à la distance divisée par la vitesse.
34. 342,86 km divisé par 160 km/h.
35. Ce qui nous donne ...2,14h.

PROCOLE DE 604-1 POUR LE PROBLEME C₃

1. Une auto de masse $2,0 \times 10^3$ kg roule à 108 km/h.
2. Le conducteur applique les freins et la vitesse de l'auto diminue de façon constante.
3. A la fin de l'intervalle de temps de 4 secondes, la vitesse de l'auto est réduite de moitié.
4. Calculez le déplacement de l'auto durant cette période...
5. Si la vitesse de l'auto est réduite de moitié, ça veut dire qu'elle passe de 108 km/h à 54 km/h en 4 secondes...
6. Que la variation de vitesse est égale à 54 km/h.
7. L'accélération est égale à la variation de vitesse divisée par le temps.
8. Donc, 54 km/h divisé par 4 secondes, ça fait une accélération négative de moins 13,5 km/h par seconde ...
9. L'espace est égal à la vitesse initiale multipliée par le temps plus $1/2 at^2$.
10. L'espace est égal à 108 km/h multiplié par 4 secondes plus $1/2$ fois $-13,5$ km/h par seconde, fois le temps au carré, $16 s^2$...
11. Les km/h ça donne des ...
12. 108 km/h ça nous donne divisé 30 m/s multiplié par 4 s, plus $1/2$ fois ... $3,75 m/s^2$ multiplié par $16 s^2$.
13. Trente fois 4, ça fait 120 mètres, moins $1,88 m/s^2$ fois $16 s^2$.
14. 120 mètres moins 13 km/h par seconde carrée.
15. Moins 1.88 mètres par seconde carrée multiplié par $16 s^2$, ça donne 30,08 mètres.
16. 120 plus 30,08 donne 150,08 mètres.

PROTCOLE DE 604-1 POUR LE PROBLEME C₄

1. En 1926, Johnny Weissmuller obtint la médaille d'or olympique en nageant la distance de 400 m en 4 minutes et 57 secondes.
2. Quarante ans plus tard, Frank Weigand obtint un chrono de 4 minutes et 11 secondes pour le même événement.
3. De combien de mètres, Weigand aurait-il battu Weissmuller s'ils avaient participé à la même course?
4. Je vais trouver la vitesse des deux nageurs.
5. Le premier en 1926: la distance de 400 m en 4 minutes 57 secondes.
6. Je vais le mettre en décimales pour que ça arrive.
7. Oui, je vais le mettre en décimales, 4 minutes 57 secondes, ça donne 4,95 minutes.
8. La vitesse est égale à la distance divisée par le temps.
9. 400 mètres divisés par 4,95 minutes ...
10. Ce qui donne une vitesse de 80,8 mètres par minute pour le premier nageur.
11. Ensuite, pour le deuxième nageur, un chrono de 4 minutes 11, donne 4,18 minutes.
12. Le temps est égal à 4,18.
13. La distance est encore égale à 400 mètres.
14. La vitesse est égale à la distance divisée par le temps: 400 mètres divisés par 4,18 minutes.
15. Ce qui donne une vitesse de 95,69 mètres par minute.
16. Si on fait une différence des vitesses, ça donne ...
17. 95,69 moins 80,8...
18. Ce qui donne une différence de 14,89 mètres par minute entre les 2 nageurs.
19. On a une différence de temps... on connaît la différence de vitesse.
20. La différence de temps est égale à 4,95 minutes moins 4,18 minutes ce qui donne 0,77 minutes.
21. On a la différence de vitesse, la différence de temps, on va trouver la différence d'espace.
22. La vitesse est égale à l'espace sur le temps, l'espace est égal à la vitesse fois le temps.
23. C'est égal à 14,89 fois 0,77...
4. Ce qui donne une différence de distance de 11,47 mètres.
25. Le deuxième nageur serait arrivé 11,47 mètres avant le premier.
26. Il y aurait eu une différence de 11,47 mètres.

PROTCOLE DE 604-1 POUR LE PROBLEME C₆

1. Une balle remonte un plan incliné; sa vitesse initiale est de 4 m/s; elle s'arrête sur le plan incliné après 2 secondes.
2. Quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
3. Quelle est la vitesse de la balle, 3 secondes après son départ du bas du plan?
4. On commence par répondre à la première question, quelle distance la balle a-t-elle parcourue sur le plan incliné?
5. Elle remonte sur un plan, sa vitesse initiale est de 4 m/s, puis sa vitesse...
6. Elle s'arrête après 2 secondes.
7. On peut calculer l'accélération qui est négative.
8. L'accélération est égale à la variation de vitesse sur le temps.
9. Une variation de vitesse de 4m/s, divisée par le temps 2 s, ce qui donne une accélération négative de 2 mètres par s².
10. Pour trouver l'espace, on prend: l'espace est égal à $1/2 at^2$, c'est égal à $1/2$ fois l'accélération négative de $2m/s^2$ multiplié par le temps au carré qui est de 2 s, ce qui fait 4 s².
11. L'espace est égal à $1/2$ fois 8 mètres.
12. L'espace est égal à 4 mètres. Ce qui veut dire que la balle parcourt 4 mètres sur le plan incliné.
13. Il faut trouver la vitesse de la balle 3 secondes après son départ du bas du plan.
14. Ce qui veut dire une seconde après son arrêt.
15. Le temps est égal à une seconde ...
16. On cherche la vitesse.
17. On dit que l'accélération est égale à la variation de vitesse sur le temps.
18. Ce qui veut dire que la vitesse est égale à at .
19. On ne parlera plus de variation de vitesse parce que la vitesse initiale est zéro.
20. Ce qui veut dire que la vitesse est égale à $2 m/s^2$ multipliée par une seconde.
21. Ce qui donne une vitesse de 2 m/s à 3 secondes après son départ du bas du plan.

REMERCIEMENTS

Nous voulons exprimer notre profonde gratitude à notre directeur de recherche monsieur Louis Ste-Marie, professeur à la faculté des sciences de l'éducation, section de mesure et évaluation en éducation, pour son aide très précieuse dans l'élaboration de ce travail. Nous voudrions aussi souligner la collaboration des juges, des enseignants et surtout des élèves de la Régionale Blainville-Deux-Montagnes qui se sont si gentiment prêtés à l'expérimentation. Enfin, nous voudrions souligner le travail admirable de madame Sylvie Bélisle qui a patiemment dactylographié ce document.