

Université de Montréal

Pensée opératoire formelle, raisonnement scientifique
et fréquentation des cours de sciences chez des
élèves de la cinquième année du secondaire

par

Colette Gervais

Département de didactique

Faculté des sciences de l'éducation



Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.) sciences de l'éducation,
option didactique

Juillet 1990

© Colette Gervais, 1990

LB

5

u57

1991

v.040

()

()

()

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

«Pensée opératoire formelle, raisonnement scientifique
et fréquentation des cours de sciences chez des
élèves de la cinquième année du secondaire»

présentée par

Colette Gervais

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Président-rapporteur:	Michel Trahan
Directeur de recherche:	Louise Allaire
Membre du jury:	Serge Larivée
Examineur externe:	Gérard Noelting

Thèse acceptée le: 29 avril 1991

Sommaire

Le développement de la pensée opératoire formelle chez les adolescents mène à la construction de nouveaux schèmes cognitifs qui s'actualisent lorsque se présentent des problèmes à résoudre. Les habiletés reliées au raisonnement scientifique, dont le développement est visé par les cours de sciences, peuvent être associées à ces capacités nouvelles de l'adolescent. Une étude exploratoire a été menée auprès de 124 sujets de 16 et de 17 ans de cinquième secondaire dans le but de déterminer les rapports entre le niveau de développement opératoire, la fréquentation des cours de sciences, la maturation, le sexe et les habiletés reliées au raisonnement scientifique. La théorie de Piaget suggère l'hypothèse d'un effet d'interaction entre ces divers facteurs sur l'acquisition des habiletés reliées au raisonnement scientifique, soit l'identification d'un problème, la formulation d'hypothèses, la planification d'une expérimentation et l'énonciation de conclusions.

L'échantillon est constitué de deux groupes à peu près égaux de sujets formels et de sujets en transition vers la pensée formelle. Les sujets formels ont une fréquentation plus grande des cours de sciences.

Les analyses multivariées démontrent: 1. qu'il existe une relation significative entre deux habiletés scientifiques, la capacité d'identifier un problème et celle de planifier une expérimentation, et le stade opératoire des

sujets, les autres variables n'étant pas reliées; 2. que cette relation est due à la logique propositionnelle et non à la structure combinatoire ou au groupe I.N.R.C. Cependant, il ne serait pas nécessaire d'avoir achevé la construction de la pensée formelle pour formuler des hypothèses ou énoncer des conclusions.

Les résultats des analyses multivariées ouvrent la voie à une étude plus poussée de l'impact des cours de sciences chez les sujets en transition et suggèrent une poursuite de l'étude des liens entre la pensée opératoire et le raisonnement scientifique chez des sujets plus jeunes, de niveau concret, afin de préciser le niveau opératoire nécessaire pour la formulation d'hypothèses et l'énoncé de conclusions. Enfin, les résultats suggèrent une explication au problème du comportement des filles en regard des cours de sciences.

Table des matières

Sommaire	III
Table des matières	V
Liste des tableaux	VII
Liste des figures	XII
Remerciements	XIV
Introduction	1
Chapitre premier - Contexte théorique et expérimental: raisonne- ment scientifique et pensée opératoire formelle	5
Raisonnement scientifique	7
Pensée opératoire formelle	23
Relations entre le raisonnement scientifique et la pensée opératoire formelle	31
Cours de sciences et acquisition du raisonnement scientifique	50
Objectifs et hypothèses de la recherche	61
Chapitre II - Description de l'expérience	65
Épreuves expérimentales	66
Sujets	93
Déroulement de l'expérience	100
Chapitre III - Analyse des résultats	102
Analyse préliminaire des données	103
Analyse des résultats	134
Interprétation des résultats	182
Résumé et conclusions	217
Références	I-1

Appendice A - Épreuves formelles et clés de correction	II-1
Appendice B - Test de raisonnement scientifique: items et grille de correction	III-1
Appendice C - Caractéristiques individuelles des sujets et résultats aux épreuves formelles et aux sous-tests de raisonnement scientifique	IV-1
Appendice D - Résultats complémentaires aux analyses multivariées	V-1

Liste des tableaux

Tableau I - Pourcentages de réussite observés au test TIPS selon les niveaux scolaires (Padilla, Okey et Dillashaw, 1983)	15
Tableau II - Pourcentages de réussite observés au test de raisonnement scientifique selon les niveaux scolaires (Demers et Allaire, 1987)	21
Tableau III - Pourcentages de réussite observés au test sur la pensée formelle des sujets de la septième à la douzième année (Padilla et al., 1983)	45
Tableau IV - Intercorrélations (coefficients r de Pearson) entre les habiletés scientifiques et les épreuves formelles (Padilla et al., 1983)	47
Tableau V - Fréquences observées à chaque stade des épreuves: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication, âge moyen et valeurs des tests Kolmogorov-Smirnov calculés entre les distributions d'âges de chaque stade (N=240) (étude de validation Allaire, Demers et Gervais, 1988)	80
Tableau VI - Pourcentages de sujets observés à chaque stade: concret (1), intermédiaire (2) et formel (3) à l'épreuve <u>équilibre de la balance</u> (étude Allaire-Dagenais, 1977 et étude de validation Allaire, Demers et Gervais, 1988)	82
Tableau VII - Pourcentages de sujets observés à chaque stade: concret (1), intermédiaire (2) et formel (3) à l'épreuve <u>permutations de jetons</u> (étude Allaire-Dagenais, 1977 et étude de validation Allaire, Demers et Gervais, 1988)	83
Tableau VIII - Répartition des sujets selon le niveau scolaire, le sexe, l'âge chronologique et la voie en mathématiques	97
Tableau IX - Cours de sciences suivis par les sujets de cinquième secondaire: cours de sciences suivis, nombre de cours et niveau de ces cours	98

Tableau X - Pourcentages de sujets de début (n=57) et de fin (n=67) de cinquième secondaire observés à chacun des stades pour les épreuves: <u>équilibre de la balance</u>, <u>quantification des probabilités</u>, <u>permutations de jetons</u> et <u>implication</u>	106
Tableau XI - Répartition, en pourcentages, des sujets en formels (4 épreuves réussies au stade formel), concrets (aucune épreuve au stade formel) et intermédiaires (1, 2 ou 3 épreuves au stade formel)	112
Tableau XII - Pourcentages de réussite observés aux sous-tests de raisonnement scientifique: moyennes et écarts-types	116
Tableau XIII - Pourcentages de réussite observés aux sous-tests de raisonnement scientifique dans trois études, avec des sujets de cinquième secondaire	117
Tableau XIV - Mise en relation des résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique et des niveaux des variables indépendantes: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences, maturation, sexe et voie en mathématiques	122
Tableau XV - Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets selon les variables indépendantes et les associations entre ces dernières	124
Tableau XVI - Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets de la voie régulière en mathématiques selon les variables indépendantes et les associations entre ces dernières.....	127
Tableau XVII - Fréquences observées de sujets formels et en transition aux épreuves: <u>équilibre de la balance</u>, <u>quantification des probabilités</u>, <u>permutations de jetons</u> et <u>implication</u> chez les filles et les garçons de la voie régulière en mathématiques	129
Tableau XVIII - Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets (n=69) de la voie régulière en mathématiques selon les variables indépendantes (sans l'épreuve des <u>permutations de jetons</u>)	132

Tableau XIX - Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M (multivariés) pour chacun des sous-tests de raisonnement scientifique	149
Tableau XX - Résultats moyens et écarts-types aux sous-tests de raisonnement scientifique et effectifs dans chaque groupe de sujets formé par le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe	151
Tableau XXI - Tests multivariés appliqués aux résultats des sous-tests de raisonnement scientifique pour les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe et leurs interactions	155
Tableau XXII - Résultats des tests univariés effectués sur les rapports entre les résultats au facteur stade opératoire et les résultats à chacun des sous-tests de raisonnement scientifique	156
Tableau XXIII - Coefficients standardisés de la fonction discriminante et corrélations canoniques entre les sous-tests de raisonnement scientifique et la fonction discriminante due à la variable stade opératoire	158
Tableau XXIV - Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M (multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique à l'épreuve <u>équilibre de la balance</u>	170
Tableau XXV - Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M (multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique à l'épreuve <u>quantification des probabilités</u>	171
Tableau XXVI - Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M (multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique à l'épreuve <u>implication</u>	173
Tableau XXVII - Résultats moyens et écarts-types aux sous-tests de raisonnement scientifique et effectifs dans les groupes de sujets formels ou en transition à chaque épreuve formelle	174
Tableau XXVIII - Tests multivariés appliqués aux sous-tests de raisonnement scientifique pour les épreuves: <u>équilibre de la balance</u> , <u>quantification des probabilités</u> et <u>implication</u>	175

Tableau XXIX - Résultats des tests univariés effectués sur les rapports entre les résultats à l'épreuve <u>implication</u> et les résultats à chacun des sous-tests de raisonnement scientifique	177
Tableau XXX - Coefficients standardisés de la fonction discriminante et corrélations canoniques entre les sous-tests de raisonnement scientifique et la fonction discriminante due à l'épreuve <u>implication</u>	178
Tableau XXXI - Grille de correction appliquée aux items <u>identification du problème</u> du test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)	III-21
Tableau XXXII - Grille de correction appliquée aux items <u>formulation d'hypothèse(s)</u> du test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)	III-22
Tableau XXXIII - Grille de correction appliquée aux items <u>énonciation de la conclusion</u> du test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)	III-23
Tableau XXXIV - Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques	IV-2
Tableau XXXV - Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: <u>équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication</u> et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: <u>identification du problème, formulation d'hypothèse(s), planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion</u>	IV-8
Tableau XXXVI - Corrélations et écarts-types (sur la diagonale) à l'intérieur des groupes formés par les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe pour chaque sous-test de raisonnement scientifique	V-2
Tableau XXXVII - Variances et covariances à l'intérieur des groupes formés par les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe pour chaque sous-test de raisonnement scientifique	V-2

Tableau XXXVIII - Corrélations et écarts-types (sur la diagonale) à l'intérieur des groupes formés par le facteur: stade observé à l'épreuve d'implication pour chaque sous-test de raisonnement scientifique V-3

Tableau XXXIX - Variances et covariances à l'intérieur des groupes formés par le facteur: stade observé à l'épreuve d'implication pour chaque sous-test de raisonnement scientifique V-3

Liste des figures

Figure 1 - Classification des habiletés nécessaires au raisonnement scientifique (Livermore, 1964)	9
Figure 2 - Mise en rapport des stades de la théorie opératoire et des habiletés liées au raisonnement scientifique (Wood, 1974)	34
Figure 3 - Séquences de développement de l'habileté de la vérification d'hypothèse en relation avec le stade (Moshman et Thompson, 1981)	38
Figure 4 - Résumé des relations suggérées entre les étapes du raisonnement scientifique et le stade opératoire	40
Figure 5 - Grille de correction des items de chacune des habiletés mesurées par le test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)	87
Figure 6 - Cours de sciences offerts selon le niveau scolaire (Commission scolaire des Moissons, années scolaires 1983-1984 et 1984-1985)	94
Figure 7 - Profils de performance observés aux quatre épreuves formelles	109
Figure 8 - Schéma des rapports entre les variables de la recherche ...	135
Figure 9 - Méthodes d'analyse utilisées en regard des hypothèses	141
Figure 10 - Histogramme des scores au sous-test de l' <u>identification du problème</u> et tests de Kolmogorov-Smirnov	145
Figure 11 - Histogramme des scores au sous-test de la <u>formulation d'hypothèse(s)</u> et tests de Kolmogorov-Smirnov	146
Figure 12 - Histogramme des scores au sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> et tests de kolmogorov-Smirnov	147
Figure 13 - Histogramme des scores au sous-test de l' <u>énonciation de la conclusion</u> et tests de kolmogorov-Smirnov	148

Figure 14 - Distribution des scores au critère «identification du malaise» du sous-test de l' <u>identification du problème</u> selon le stade opératoire des sujets	160
Figure 15 - Distribution des scores au critère «formulation générale» du sous-test de l' <u>identification du problème</u> selon le stade opératoire des sujets	161
Figure 16 - Distribution des scores au sous-test de l' <u>identification du problème</u> selon le stade opératoire des sujets	162
Figure 17 - Distribution des scores au critère «énumération du matériel» du sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	163
Figure 18 - Distribution des scores au critère «mesure de la variable indépendante» du sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	164
Figure 19 - Distribution des scores au critère «mesure de la variable dépendante» du sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	165
Figure 20 - Distribution des scores au critère «mention des variables contrôle» du sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	166
Figure 21 - Distribution des scores au critère «schématisation du déroulement de l'expérience» du sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	167
Figure 22 - Distribution des scores au sous-test de la <u>planification de l'expérimentation</u> selon le stade opératoire des sujets	168
Figure 23 - Scores à la fonction discriminante des huit groupes de sujets formés par le classement selon le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe	169
Figure 24 - Résultats multivariés observés en regard des hypothèses de la recherche	181

Remerciements

L'auteur désire exprimer sa reconnaissance à son directeur de thèse, madame Louise Allaire, Ph.D., professeur agrégé, pour sa disponibilité et la qualité de son appui tout au long de la réalisation de ce travail.

Introduction

Un certain nombre de capacités intellectuelles nouvelles apparaissent durant l'adolescence. Piaget explique les changements qui s'opèrent à cet âge par le passage de la pensée opératoire concrète à la pensée formelle. Quatre facteurs de développement contribuent, selon Inhelder et Piaget (1955), au passage d'un stade de pensée à un autre: la maturation du système nerveux, l'expérience acquise en fonction du milieu physique, l'interaction sociale et le processus d'équilibration, le stade opératoire constituant la résultante de l'interaction entre ces facteurs. La théorie piagétienne a donné lieu à plusieurs études, dont un certain nombre au Québec (Allaire-Dagenais, 1977, 1983; Désautels, 1978; Torkia-Lagacée, 1981), visant à mesurer le développement cognitif des adolescents et à le mettre en relation avec certaines capacités plus spécifiques.

On peut en effet faire l'hypothèse que certaines capacités nouvelles qui apparaissent à l'adolescence évoluent de façon étroitement solidaire avec les structures opératoires dont disposent les sujets. Le raisonnement scientifique semble l'une de ces capacités nouvelles. Or, l'enseignement des sciences vise le développement d'habiletés reliées au raisonnement

scientifique, ces habiletés s'acquérant graduellement du primaire au secondaire, selon la classification faite par Livermore (1964). Des chercheurs ont tenté de vérifier les relations entre l'acquisition de certaines habiletés scientifiques et le développement cognitif. Dans l'ensemble, les résultats expérimentaux confirment l'existence de tels liens (Shayer et al., 1976; Lawson et al., 1978; Padilla et al., 1983). Il paraît intéressant de poursuivre la recherche, d'abord en vérifiant l'effet des facteurs de développement définis par Piaget, ensuite en étudiant les habiletés globales qui définissent le raisonnement scientifique, et enfin en vérifiant les liens eux-mêmes entre le raisonnement scientifique et la pensée formelle.

L'objectif de cette recherche est de vérifier l'effet individuel des facteurs identifiés par Piaget, c'est-à-dire du stade opératoire, de l'expérience scientifique et de la maturation des sujets, de même que l'effet des interactions entre ces facteurs, sur l'acquisition des habiletés définissant le raisonnement scientifique. Cette recherche vise également à vérifier l'existence de relations particulières entre les habiletés reliées au raisonnement scientifique prises une à une et les structures de base de la pensée formelle.

Cette thèse se compose de trois parties principales. Dans le premier chapitre, les fondements théoriques et les données des recherches antérieures mènent à la formulation des hypothèses. Le deuxième chapitre décrit l'expérience. L'analyse des résultats constitue le troisième chapitre.

Chapitre premier

Contexte théorique et expérimental:

Raisonnement scientifique et pensée opératoire formelle

Afin de déterminer l'importance des liens éventuels entre d'une part le développement de la pensée opératoire formelle et, d'autre part, l'acquisition du raisonnement scientifique, il importe de présenter successivement les bases théoriques qui fondent l'hypothèse de ces liens puis les évidences expérimentales telles que les révèle l'examen critique des recherches reliées à cette problématique. Nous allons donc procéder à une description du raisonnement scientifique et des habiletés intellectuelles qu'il implique, à une explication du modèle piagétien du développement de la pensée ainsi qu'à une étude des relations entre les deux. Nous discuterons ensuite du rôle des cours de sciences considérés comme un facteur plus spécifique d'acquisition du raisonnement scientifique, d'abord en rapport avec le modèle piagétien, puis en rapport avec une théorie alternative. Une synthèse critique nous permettra finalement de mieux définir les objectifs de la présente recherche, de justifier le choix du cadre théorique retenu et d'avancer des hypothèses.

1. Raisonnement scientifique

Une étude des travaux antérieurs permettra de comprendre comment différents chercheurs définissent le raisonnement scientifique et comment certains d'entre eux ont tenté de mesurer l'acquisition de ce type de raisonnement.

1.1 Habiletés reliées au raisonnement scientifique

L'acquisition des habiletés cognitives nécessaires au raisonnement scientifique est l'un des objectifs fondamentaux des programmes de sciences conçus depuis une vingtaine d'années (Gagné, 1965; Padilla, Okey et Garrard, 1984). Une étude d'envergure nationale, réalisée par le Conseil des sciences du Canada en 1984, démontre que cet objectif se situe, selon les directives ministérielles et selon les enseignants, au deuxième rang, par ordre d'importance, parmi les objectifs de l'enseignement des sciences au niveau secondaire, soit immédiatement après les objectifs reliés à l'acquisition de contenu, c'est-à-dire de connaissances. Il y a donc unanimité, des concepteurs de programmes d'étude aux instances décisionnelles (les ministères d'éducation) et aux enseignants, à propos de

cet objectif. Toutefois, malgré l'importance théorique accordée à l'acquisition du raisonnement scientifique dans les programmes de sciences au niveau secondaire, dans la pratique, on se préoccupe rarement d'évaluer l'atteinte de cet objectif.

Le raisonnement scientifique peut se définir comme la démarche par laquelle un sujet résout un problème ou explique un phénomène naturel et fait la preuve de ses dires (Pierce et Lorber, 1977). Le raisonnement scientifique, ou démarche expérimentale propre aux sciences (Robert, 1989), est défini depuis le dix-neuvième siècle comme une séquence qui inclut les quatre étapes suivantes: *l'identification d'un problème*, la *formulation d'hypothèse(s)*, la *planification de l'expérimentation* et *l'énonciation de la conclusion*.

Les enseignants de sciences ont tenté de préciser davantage les habiletés intellectuelles impliquées dans ce type de raisonnement lorsque les programmes scolaires scientifiques se sont orientés, dans les années soixante, vers un apprentissage explicite de la démarche scientifique. Livermore (1964) a dressé, pour l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), une liste des habiletés nécessaires à la

mise en œuvre de cette démarche. Il a distingué les habiletés de base et les habiletés intégrées, les premières étant préalables aux secondes, considérées comme plus complexes. La figure 1 présente la liste de ces habiletés.

Figure 1
Classification des habiletés nécessaires
au raisonnement scientifique (Livermore, 1964)

Catégories	Habiletés	Niveau scolaire
habiletés de base	observer - classier - mesurer - communiquer - inférer - prédire - reconnaître les relations espace-temps - reconnaître les relations de nombre	primaire
habiletés intégrées	formuler des hypothèses - définir de façon opérationnelle - contrôler et manipuler des variables - expérimenter - interpréter des données - formuler des modèles	fin primaire et secondaire

La première catégorie définie par Livermore (1964) regroupe des habiletés simples, préalables à l'utilisation du raisonnement scientifique. Ces habiletés dites *de base* sont exploitées dès le premier cycle du primaire dans les programmes de sciences; ceux-ci proposent aux élèves

des activités scientifiques d'observation, de classification, de mesure à l'aide d'instruments simples, d'inférence, de communication des résultats. Ces habiletés sont préalables aux habiletés de la deuxième catégorie définie par Livermore, les habiletés dites *intégrées*, plus complexes et nécessitant la mise en oeuvre de plusieurs habiletés de base à la fois; elles intègrent plusieurs habiletés de base et correspondent aux étapes de la démarche expérimentale. Dès le deuxième cycle du primaire et au secondaire, des activités additionnelles correspondant à ces habiletés intégrées sont de fait proposées aux élèves: la formulation d'hypothèses, l'expérimentation, l'interprétation de données. Cette deuxième catégorie d'habiletés apparaît donc comme directement reliée aux étapes du raisonnement scientifique. La classification des habiletés scientifiques faite par Livermore (1964) a servi de point de départ tant à l'élaboration de programmes de sciences qu'à des études portant sur l'acquisition du raisonnement scientifique, à la fois au niveau primaire et au niveau secondaire. La prochaine section traite des instruments de mesure du raisonnement scientifique, dont la plupart ont été élaborés à partir de cette classification des habiletés.

1.2 Mesure de l'acquisition du raisonnement scientifique

Le Conseil des sciences du Canada, dans une enquête commandée en 1984 sur l'enseignement des sciences, a recueilli des informations sur l'acquisition du raisonnement scientifique par les élèves du cours secondaire. Les chercheurs ont procédé à trois recherches parallèles: une enquête auprès des enseignants, une analyse en profondeur des manuels utilisés et des études de cas. En premier lieu, l'enquête a révélé qu'au deuxième cycle du secondaire, la très grande majorité des enseignants utilisent systématiquement un manuel de sciences et privilégient le laboratoire comme moyen de faire acquérir les habiletés nécessaires au raisonnement scientifique. Ces mêmes enseignants sont d'avis que leur enseignement est efficace pour faire acquérir ces habiletés à leurs élèves. En second lieu, l'analyse des manuels de sciences, les manuels de laboratoire en particulier, révèle que ces derniers fournissent l'occasion aux élèves de pratiquer les habiletés dites de base, soit l'observation, la mesure, l'utilisation d'appareils, la compilation des résultats. Dans à peu près la moitié des cas, les élèves ont aussi l'occasion d'expliquer des relations ou de proposer des généralisations. Par contre, il n'est jamais demandé aux élèves de définir un problème, de concevoir une observation

ou une expérience, de formuler une hypothèse (sauf, pour cette dernière habileté, dans quelques cas en biologie). En dernier lieu, les études de cas réalisées dans diverses écoles au Canada confirment malheureusement ce que révélait l'analyse des volumes. Mentionnons en particulier l'étude faite par Trempe (1984) dans une polyvalente du Québec, qui révèle l'absence de démarche expérimentale effective lors de la réalisation des travaux de laboratoire: les élèves ne sont pas incités à formuler une hypothèse face à un problème (l'enseignant ne le fait pas non plus); la démarche d'observation est dictée au complet; même la conclusion est déterminée par l'enseignant.

"D'ailleurs le mot "expérimenter" lui-même ou l'expression "faire une expérience" comportent pour ces élèves une signification bien particulière. Expérimenter ou faire une expérience ne signifie pas vraiment, comme on pourrait s'y attendre, mettre à l'épreuve une hypothèse plus ou moins précise en faisant en sorte qu'un phénomène se manifeste dans des conditions bien déterminées, mais plutôt toucher empiriquement une réalité et voir de ses propres yeux se produire un phénomène pour acquérir, disent-ils, la certitude de son existence." (Trempe, 1984, p. 232)

Si l'on s'en tient aux habiletés dites de base (observer, classifier, etc), il est fort probable que les enseignants évaluent bien l'efficacité de leur

enseignement pour l'acquisition d'habiletés reliées au raisonnement scientifique. Une étude de Des Lierres (1980) démontre en effet que les habiletés d'observation et d'interprétation sont en progression chez les élèves de la première à la troisième secondaire. Mais en ce qui concerne les habiletés plus complexes (formuler des hypothèses, expérimenter, etc), l'image est beaucoup moins précise. Il n'existe pas vraiment d'étude importante sur le sujet et les études de cas mentionnées révèlent plutôt l'absence de préoccupation à l'égard de ces habiletés à l'intérieur des cours de sciences.

La grande majorité des tests construits pour mesurer l'acquisition du raisonnement scientifique sont basés sur la classification des habiletés de Livermore (1964). Ces tests concernent souvent un programme spécifique de niveau primaire (Riley, 1972; McLeod et al., 1975). Au niveau secondaire, les tests ont généralement été construits en fonction d'un programme particulier, par exemple le test "processes of science test" pour un cours de biologie. Certains tests ont toutefois été conçus indépendamment des programmes; par exemple, un test a été élaboré par Molitor et George (1976) au niveau primaire, un autre par Tannenbaum (1968) pour la fin du niveau primaire et le début du niveau secondaire, et

le test TIPS, qui a été élaboré par Dillashaw et Okey (1980), porte sur des connaissances scientifiques générales de niveau secondaire, à partir de certaines habiletés dites intégrées définies par Livermore (1964).

Des tests ont été conçus pour comparer divers programmes scolaires ou diverses méthodes pédagogiques. Il est pertinent de donner ici un aperçu des résultats observés. Des mesures effectuées au niveau primaire dans le cadre de la méthode Science Curriculum Improvement Study (SCIS) révèlent que l'enseignement des sciences influence l'acquisition des habiletés dites de base chez les élèves (Weber et Renner, 1972; Boyer et Linn, 1978; Allen, 1973). Butzow et Sewell (1972) obtiennent le même genre de résultats au début du niveau secondaire. Avec des élèves du même âge, Padilla, Okey et Garrard (1984) ont comparé trois modes d'enseignement, allant de l'exposé classique à une introduction spécifique au raisonnement scientifique et à une utilisation systématique de ce type de raisonnement. Ce dernier traitement a produit des résultats significativement plus élevés pour deux habiletés dites intégrées, l'identification des variables et la formulation d'hypothèses.

Une étude de Padilla, Okey et Dillashaw (1983) utilisant le test TIPS

déjà mentionné de Dillashaw et Okey (1980), élaboré rappelons-le indépendamment de tout programme, fournit une mesure de l'acquisition de certaines habiletés dites intégrées reliées au raisonnement scientifique chez des élèves de tous les niveaux du secondaire; ces niveaux correspondent, dans le système scolaire québécois, aux niveaux allant de la première année du secondaire à la première année du collégial. Les résultats observés paraissent au tableau I.

Tableau I
Pourcentages de réussite observés au test TIPS selon les niveaux scolaires (Padilla, Okey et Dillashaw, 1983) (N=491)

Habiletés intégrées	Niveaux scolaires					
	7	8	9	10	11	12
Hypothèse	52	51	60	64	73	72
Identification de variable	51	44	52	58	61	60
Définition opérationnelle	71	69	65	77	76	79
Planification d'expérience	50	55	58	67	69	72
Interprétation de graphique et de données	52	49	58	66	67	68
Test total	55	52	58	65	68	68

Les données du tableau I démontrent d'une part que les taux de réussite (moyennes exprimées en pourcentages) à toutes les habiletés mesurées dans ce test sont supérieurs à 50% à tous les niveaux, à deux exceptions près au niveau 8; le score maximal observé est de 79% pour l'habileté dont le niveau de départ était de 71% au niveau 7. Les auteurs concluent à un rendement moyen, permettant de supposer que les apprentissages seraient plus importants si les cours étaient davantage axés sur le développement de ces habiletés scientifiques. D'autre part, il y a progrès constant d'un niveau à l'autre (à part le niveau 8), mais ce progrès est relativement peu important sur les cinq années d'écart entre les niveaux de départ et la fin des mesures: il va de 8% en définition opérationnelle à 22% en planification d'expérience. Les auteurs ne présentent pas d'analyses statistiques qui préciseraient les différences significatives trouvées entre les sujets des différents niveaux scolaires. Il faut d'une part souligner que le niveau de départ est tel qu'il est peu probable d'observer une progression importante; d'autre part, il est à remarquer qu'il n'y a en général plus beaucoup de progrès réalisé à partir du niveau 10, sauf pour l'habileté hypothèse. Faut-il en conclure qu'à partir de ce niveau, l'âge et la scolarisation, par exemple, sont des facteurs qui influencent peu l'acquisition de ces habiletés? D'ailleurs, lors de la

validation d'une deuxième version du test basé sur les mêmes habiletés, Burns, Okey et Wise (1985) s'interrogent sur les résultats obtenus: ceux-ci pourraient n'indiquer, selon leurs dires, que la familiarité des élèves avec certains termes plutôt que leur compréhension des concepts.

Demers et Allaire (1987) ont procédé à l'analyse de certaines de ces habiletés dites intégrées. Il faut se rappeler que cette liste d'habiletés (figure 1) comporte à la fois des habiletés définissant directement une étape du raisonnement scientifique, par exemple la formulation d'hypothèses, et des habiletés comprises dans ces étapes, par exemple l'identification de variable qui est impliquée à la fois dans l'identification du problème, la formulation d'hypothèses et l'énonciation de la conclusion. Demers et Allaire (1987) proposent de distinguer deux niveaux d'habiletés liées au raisonnement scientifique: à un premier niveau, une habileté serait définie par sa correspondance à une étape globale du raisonnement scientifique; à un deuxième niveau, le décodage d'une de ces étapes du raisonnement scientifique permettrait de distinguer éventuellement plusieurs habiletés fonctionnelles, que l'on pourrait retrouver dans plusieurs étapes du raisonnement scientifique. Les résultats d'une analyse factorielle appliquée au test à questions ouvertes construit par Demers et

Allaire (1987) confirment par ailleurs cette distinction. Les facteurs retrouvés à l'analyse correspondent aux habiletés du premier niveau, c'est-à-dire aux habiletés définissant une étape du raisonnement scientifique: habiletés à formuler un problème, à formuler une hypothèse, à planifier une expérimentation, à formuler une conclusion, à énoncer des interpolations et des extrapolations, et non aux habiletés fonctionnelles du deuxième niveau, soit celles résultant d'un décodage de chacune des étapes. Par exemple, il n'existe pas une habileté unique appelée identification de la variable indépendante se retrouvant sous un facteur unique, quelle que soit l'étape du raisonnement scientifique dans laquelle cette habileté a été utilisée. L'analyse, cependant, permet de retrouver plutôt ces habiletés de deuxième niveau dans chacun des facteurs de premier niveau correspondant à l'une des quatre étapes du raisonnement scientifique. Les seules habiletés susceptibles d'être qualifiées d'*intégrées* seraient donc celles qui définissent les étapes du raisonnement scientifique. Nous retiendrons cette définition des habiletés correspondant aux quatre étapes du raisonnement scientifique: l'identification du problème, la formulation d'hypothèse(s), la planification de l'expérimentation et l'énonciation de la conclusion.

Chacune de ces étapes a fait l'objet d'une définition assez précise dans la littérature, sauf l'étape de l'identification du problème, dont la définition est habituellement laissée à l'intuition. Nous reprenons les définitions proposées par Demers et Allaire (1987) pour chacune des étapes.

L'identification du problème consiste en une interrogation (a) sur des caractéristiques d'un fait ou d'un phénomène; ce genre de problème conduit à des hypothèses typiques des recherches descriptives (par exemple, «Combien de repas sont servis chaque jour de la semaine à la cafétéria de l'école?») ou (b) sur des explications d'un fait ou d'un phénomène où on a identifié une difficulté, un malaise, une anomalie, ou une incongruence issue d'observations empiriques ou conceptuelles; ce genre de problème conduit à des hypothèses explicatives: c'est le sens à donner à un problème en recherche expérimentale (par exemple, «Pourquoi y a-t-il moins de repas servis les mardis midi à la cafétéria de l'école?»). La question est la forme par excellence pour bien exprimer un problème (Tuckman, 1978).

La formulation d'hypothèse(s) est l'avancé d'une réponse à la *question* posée par le problème. Elle est du domaine de la supposition Voici des exemples. (a) «Ce doit être les mardis midi qu'on sert moins de repas à la cafétéria de l'école.» Ce type d'hypothèse peut n'avoir aucun fondement et s'il en est ainsi, il est de fait rarement formulé. Il demeure une caractéristique de la recherche plutôt empirique où le problème se lirait comme suit: «Comment le nombre des repas servis à la cafétéria varie-t-il quotidiennement?» Ce type de question est révélateur d'une simple curiosité. (b) «Les menus des mardis midi sont tels que les clients ne mangent pas à la cafétéria ce jour-là.» (*hypothèse explicative*) Ce deuxième type d'hypothèse met en cause un facteur (dit *variable indépendante*, les menus dans ce cas-ci) responsable de l'absentéisme observé à la cafétéria.

L'essai de menus différents constituera l'expérimentation dont les résultats infirmeront ou confirmeront l'hypothèse.

La planification de l'expérimentation consiste dans l'organisation systématique d'une expérience en vue de vérifier une hypothèse. Ses caractéristiques sont: l'identification de la variable indépendante, puis l'établissement d'une échelle pour mesurer cette variable; l'identification de la variable dépendante et la détermination du genre de mesures à utiliser; l'identification des variables à contrôler et des méthodes de contrôle; la prévision du matériel et de son mode d'utilisation; enfin, la schématisation des étapes successives de l'expérience proprement dite.

L'énonciation de la conclusion mesurera (a) la capacité de relever les points saillants des résultats: il s'agira alors d'un résumé succinct et concis de ceux-ci. (b) La conclusion dégagera une généralisation des résultats. À ce point de vue, elle énoncera un principe issu de l'induction. Cette forme de conclusion est typique de la démarche expérimentale. (c) La conclusion nécessitera une part d'inférence, c'est-à-dire l'affirmation d'une proposition en se fondant sur les rapports qu'on aperçoit ou croit apercevoir avec une autre proposition acceptée ou reconnue pour vraie; dans ce sens, elle comprendra l'interpolation et l'extrapolation. Cette définition reprend trois des six points proposés par Klopfer (1971) pour définir l'interprétation des données. (Demers et Allaire, 1987, pp. 57 et 58)

Le tableau II présente les résultats au test construit par Demers et Allaire (1987) à partir de ces définitions.

Tableau II
 Pourcentages de réussite observés au test de raisonnement scientifique
 selon les niveaux scolaires (Demers et Allaire, 1987) (N=226)

	Niveaux scolaires secondaires				
	1	2	3	4	5
Identification du problème	52	45	59	50	59
Formulation d'hypothèses	35	39	42	48	58
Planification de l'expérimentation	38	28	28	28	65
Énonciation de la conclusion	49	51	53	58	80

Les résultats obtenus par les sujets de la première à la cinquième secondaire, illustrés au tableau II, révèlent une progression dans l'acquisition du raisonnement scientifique, les scores exprimés en pourcentages de réussite variant de 28% à 80%. À chacun des sous-tests, il y a progrès de la première à la cinquième secondaire (écarts de 7% à 31%), mais ce progrès est particulièrement important entre les premiers niveaux et la cinquième secondaire. Soulignons d'une part ce qui semble être une régression des sujets du niveau 2 à deux sous-tests, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation; d'autre part, il y a stagnation dans les résultats des sujets des niveaux 2 à 4, en particulier au sous-test de la planification de l'expérimentation. Les sujets de ces niveaux paraissent traverser une période de transition correspondant à

des restructurations cognitives dont les effets deviennent surtout visibles au niveau 5 par une augmentation des scores à plusieurs sous-tests. Demers et Allaire (1987) n'ont pas fourni les indices statistiques faisant état de différences significatives entre les sujets des niveaux scolaires. Ce test semble mieux couvrir la période d'acquisition du raisonnement scientifique que le test TIPS (voir tableau I) où les résultats étaient supérieurs à 50% chez les sujets de tous les niveaux. Ce test paraît donc prometteur pour la mesure du raisonnement scientifique, d'une part parce qu'il est basé sur les habiletés que nous pouvons qualifier d'*intégrées* impliquées dans ce type de raisonnement et, d'autre part, parce qu'il met en évidence le caractère graduel de l'acquisition de ces habiletés. De plus, les items ont été rédigés à partir de faits de la vie courante, sans caractère scientifique apparent et sans lien avec un programme scolaire, et non à partir de faits scientifiques comme l'étaient la plupart des tests utilisés jusqu'ici. D'ailleurs, les résultats obtenus avec de tels tests à contenu scientifique pourraient n'être, comme le suppose l'étude de Coulter, Williams et Schulz (1981) que la conséquence de la simple mémorisation de connaissances ou l'application d'algorithmes déjà connus. Morgensten et Renner (1984) ont fait un relevé systématique du niveau des items de plusieurs de ces tests standardisés afin de déterminer ce qui est mesuré

par ceux-ci; leurs résultats démontrent que 90% des items ne requièrent que le rappel de connaissances et/ou de techniques scientifiques acquises lors des cours de sciences.

2. Pensée opératoire formelle

Plusieurs auteurs, entre autres Lawson et al (1978) ainsi que Shayer et al (1976), se sont interrogés sur les relations entre l'apprentissage des matières scientifiques et le développement intellectuel: le désintérêt des élèves pour les cours de sciences et les échecs en sciences seraient-ils dus à des contenus de cours inappropriés du point de vue du développement cognitif des élèves? La théorie la plus fréquemment invoquée par ces auteurs est celle de Jean Piaget, théorie qui décrit le développement de la pensée et qui tente d'en expliquer les mécanismes. Elle est basée sur le principe de stades de développement successifs. Notre intérêt se situant à la fin du niveau secondaire, le dernier stade de développement décrit par Inhelder et Piaget (1955), soit le stade de la pensée opératoire formelle, sera présenté. Mais, comme le démontrent plusieurs recherches (Chiappetta, 1976; Shayer et al, 1976; Allaire-Dagenais, 1977; Torkia-Lagacée, 1981), ce stade formel n'est pas atteint par tous les sujets

à la fin du niveau secondaire. Il sera donc nécessaire de discuter aussi du stade qui précède, soit celui de la pensée opératoire concrète et, brièvement, du passage entre les deux stades. Ceci nous conduira à démontrer la pertinence de l'hypothèse selon laquelle il existe des relations entre l'acquisition du raisonnement scientifique et le stade opératoire du sujet.

2.1 Modèle piagétien

La pensée opératoire formelle comporte deux structures complémentaires, la structure combinatoire et la structure des transformations identique, négative, réciproque et corrélative (I.N.R.C.). La discussion qui suit est basée sur la théorie présentée par Inhelder et Piaget (1955) dans De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent.

Le sujet opératoire concret dispose d'un équilibre cognitif bien établi, basé sur des opérations définies: classification, sériation, mise en correspondance, etc. À ce stade, le système opératoire est en équilibre; toutefois, la pensée opératoire concrète procédant domaine par domaine, l'équilibre atteint présente un champ relativement restreint et demeure

instable aux frontières de ce champ, c'est-à-dire lorsque le sujet se trouve confronté à une situation ou à une réalité qu'il ne réussit pas à comprendre ou à maîtriser à l'aide de ces opérations logiques élémentaires.

Ainsi, le sujet opératoire concret s'efforce de structurer la réalité de la manière la plus complète qui lui soit accessible; mais il est incapable de dissocier les facteurs: il classe, ordonne, met en correspondance les faits tels qu'il les enregistre directement, sans critique de l'expérience, ni précautions méthodologiques systématiques. Lorsqu'il doit résoudre des problèmes dans lesquels plusieurs domaines interfèrent, par exemple dans l'épreuve classique de la flexibilité des tiges de métal, il se heurte tôt ou tard à des résultats peu cohérents et même contradictoires; dans l'épreuve précitée, où on demande au sujet de vérifier expérimentalement le rôle de divers facteurs dans la flexibilité de la tige (matériau, longueur, épaisseur, etc), le sujet opératoire concret aboutit à des résultats incompatibles selon qu'il considère l'un ou l'autre des facteurs; il arrive à un tel mélange des divers facteurs que plus rien ne peut être déduit à propos du rôle spécifique éventuel de l'un ou l'autre de ces facteurs.

Quand il commence à prendre au sérieux les exigences de

l'expérience, le sujet se trouve donc dans une situation sans issue, même en ce qui concerne la simple description concrète des faits bruts. S'impose donc, tôt ou tard, une nouvelle attitude expérimentale qui s'esquisse, selon Inhelder et Piaget (1955), dès le stade concret mais ne se généralise qu'au stade formel: l'essai de dissocier les facteurs. Lorsqu'il est engagé dans cette voie, le sujet se trouve obligé, par la méthode même qu'il adopte, de se demander sans cesse s'il n'a rien oublié; alors apparaît nécessairement la combinatoire, car il doit d'abord concevoir toutes les combinaisons possibles entre les différents aspects de la réalité qu'il peut identifier, puis il doit éventuellement choisir les combinaisons significatives parmi l'ensemble des combinaisons possibles. La dissociation des facteurs suppose donc nécessairement qu'il puisse combiner entre elles, c'est-à-dire mettre en rapport, les associations de base qu'il a isolées, par exemple une tige longue et épaisse et une tige longue et mince dans l'épreuve de la flexibilité des tiges précédemment mentionnée.

Inhelder et Piaget (1955) ont décrit quatre facteurs de développement contribuant au passage d'un stade de pensée à un autre. Trois de ces facteurs, la maturation du système nerveux, l'expérience acquise en fonction du milieu physique et l'interaction sociale,

interagissent en se soumettant aux lois du quatrième facteur, l'équilibration; ces facteurs déterminent les meilleures formes d'adaptation compatibles avec l'ensemble des conditions en jeu. Tout déséquilibre, dû à une combinaison nouvelle des trois premiers facteurs qui fait chanceler l'organisation déjà établie chez un sujet, l'amène vers une autre forme d'équilibre. C'est ce qui se produit à la fin de la période opératoire concrète; le nouvel équilibre ne pourra être atteint tant que les problèmes rencontrés ne seront pas résolus. C'est alors qu'apparaît la capacité de dissocier les facteurs, à cause du besoin de coordonner entre eux les résultats toujours plus enchevêtrés des opérations concrètes de mise en sériation et de correspondance, et qu'elle aboutit, comme on l'a vu, à la construction d'une combinatoire.

La pensée formelle se caractérise par deux structures, la combinatoire et le groupe I.N.R.C. La structure combinatoire, c'est la systématisation de la recherche de toutes les possibilités, qu'il s'agisse d'objets, de facteurs ou de propositions. Le groupe I.N.R.C., quant à lui, est défini par la présence de quatre opérations, l'identique, l'inverse ou la négative, la réciproque et la corrélatrice, opérations qui permettent une grande capacité de compensation; ainsi, dans l'épreuve de l'équilibre de la

balance, le sujet pourra compenser une action, par exemple le fait de suspendre un poids à l'un des fléaux de la balance (l'identique) par l'inversion de l'opération en enlevant le poids suspendu (la négative) ou par l'annulation de l'effet de l'opération en suspendant un poids à l'autre fléau de la balance (la réciproque); l'opération corrélatrice correspond à l'inverse de la réciproque, c'est-à-dire, dans notre exemple, à l'enlèvement du deuxième poids, rétablissant ainsi la situation initiale. Le groupe I.N.R.C. intervient également dans la compréhension de notions aussi variées et complexes que les proportions, les doubles systèmes de référence, les corrélations, etc. Ces deux structures formelles mènent à la logique propositionnelle, dont les opérations sont issues de combinaisons rendues possibles par la structure combinatoire mais dont la mobilité et la rigueur reposent sur la structure de double réversibilité du groupe I.N.R.C. La structure opératoire formelle se présente donc sous divers aspects selon que l'accent porte sur la constitution de tous les possibles (combinatoire systématique), sur la présence simultanée des deux types de réversibilité (inversion et réciprocity du groupe I.N.R.C.) ou encore sur le raisonnement hypothético-déductif, (logique propositionnelle). La logique propositionnelle est une manifestation complète, donc mixte, de la pensée formelle, puisqu'elle reflète les deux structures de base, c'est-à-dire la

structure combinatoire et le groupe I.N.R.C., alors que d'autres manifestations propres à cette période du développement (combinaisons, permutations, proportions, etc) illustrent l'une ou l'autre des deux structures fondamentales de la pensée formelle.

2.2 Vérifications expérimentales du modèle piagétien

La théorie opératoire de Piaget a été soumise à de très nombreuses vérifications expérimentales; certains aspects en ont été infirmés, par exemple les âges d'accession au stade formel se sont révélés plus tardifs que ceux qu'annonçaient les travaux de Piaget. L'âge d'accession a été défini de diverses façons par les chercheurs, mais la plupart s'entendent pour la situer au moment où 50% des sujets atteignent un stade donné. De même, l'atteinte du niveau formel ne s'est pas avérée universelle comme le laissait entendre Piaget (Lawson, 1985). Nassefat (1963) et Longeot (1969) ont démontré l'existence des stades de développement successifs. Le caractère unitaire de la pensée formelle a aussi été confirmé (Allaire-Dagenais, 1977). Dans une revue exhaustive des recherches effectuées depuis les années soixante dans le contexte piagétien, Lawson (1985) conclut lui aussi au caractère unitaire de la pensée formelle à la

suite de la compilation d'un grand nombre de résultats (indices de corrélation et analyses factorielles). De plus, les analyses qu'il a répertoriées permettent de distinguer cette structure d'un facteur général d'intelligence ("*general fluid intelligence factor*") (Spearman, 1951 et Cattell, 1971). Mais Lawson (1985) indique quant à lui qu'il n'a pas trouvé d'appui empirique concernant une distinction entre les deux structures formelles telles que définies par Piaget, c'est-à-dire la structure combinatoire et le groupe I.N.R.C.

La théorie opératoire de l'intelligence, selon Tellier (1979) qui a effectué une bonne revue de la littérature sur le sujet, a un appui empirique respectable. Toutefois, les données concernant les sujets de la fin du niveau secondaire varient selon les chercheurs; quelques-uns situent l'âge d'accession à la pensée formelle, soit l'âge où 50% des sujets réussissent les épreuves, autour de quinze ans (Allaire-Dagenais, 1977; Shayer et al, 1976). Dans une revue d'études, Chiapetta (1976) n'a considéré que les recherches dans lesquelles trois épreuves d'administration individuelle, ou plus, avaient été utilisées. Au niveau qui nous intéresse, c'est-à-dire entre seize et dix-sept ans, les pourcentages de sujets trouvés formels variaient de 15% à 78%.

Des études longitudinales ont aussi été réalisées; les résultats semblent indiquer un ordre spécifique croissant de développement des structures de la pensée formelle: les épreuves combinatoires seraient réussies avant les épreuves du groupe I.N.R.C. (Neimark, 1975; Allaire-Dagenais, 1983). Les résultats de Flexer (1980) confirment cet ordre: les épreuves combinatoires sont d'abord réussies, puis celles de la logique propositionnelle et enfin celles du groupe I.N.R.C. Malgré le fait que les résultats de ces trois recherches se recoupent, il est impossible de conclure catégoriquement car les différentes épreuves utilisées peuvent se révéler de niveaux de difficulté différents. Mais il pourra être intéressant de vérifier si l'ordre d'accession aux structures formelles qui semble se dégager de ces données est en rapport avec l'acquisition des étapes du raisonnement scientifique.

3. Relations entre le raisonnement scientifique et la pensée opératoire formelle

De nombreux chercheurs intéressés par l'enseignement des sciences ont basé leurs travaux sur la théorie piagétienne. Un résumé de leurs positions théoriques, suivi d'un examen critique des résultats

expérimentaux obtenus, permettra de démontrer la pertinence de cette théorie du développement comme base de recherche.

3.1 Positions théoriques

Dans leur avant-propos à De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent, Inhelder et Piaget (1955) mentionnent qu'au point de départ de leurs travaux, ils avaient entrepris une étude systématique de l'induction des lois physiques chez l'enfant et chez l'adolescent et que cette étude génétique de l'induction expérimentale avait abouti à des résultats inattendus: d'une part, il était possible de caractériser la pensée de l'adolescent par la constitution de certaines méthodes d'induction expérimentale et surtout de vérification systématique, inconnues de l'enfant; d'autre part, ces méthodes de découverte et de démarche expérimentale propres à l'adolescent se sont montrées solidaires d'une toute nouvelle structuration opératoire fondée sur la logique des propositions et sur une pensée "*formelle*" distincte de la pensée opératoire "*concrète*", elle-même basée sur les opérations de la logique des classes et des relations. Le grand intérêt des données recueillies grâce à l'étude du raisonnement expérimental chez l'adolescent fut de mettre en

évidence le fait que la pensée formelle ne consiste pas seulement en raisonnements verbaux (logique des propositions) mais qu'elle entraîne la formation d'une série de schèmes opératoires apparaissant synchroniquement: opérations combinatoires, proportions, corrélations, etc.

Piaget précise donc avoir découvert les structures formelles en voulant étudier l'induction expérimentale. Il est donc justifié de supposer que ces structures sont en rapport avec le raisonnement scientifique. Voyons plus précisément comment on pourrait concevoir ce rapport entre les étapes du raisonnement scientifique et la pensée opératoire formelle. Un tableau a été élaboré par Wood (1974) pour décrire les correspondances possibles entre certaines habiletés liées au raisonnement scientifique et les stades du développement cognitif; il est reproduit à la figure 2.

D'après le tableau de Wood (figure 2), la plupart des habiletés scientifiques seraient accessibles à la fois aux sujets des stades opératoires concret et formel; le stade opératoire formel ne serait nécessaire que pour quelques composantes seulement de ces habiletés (le contrôle de variations multiples des variables et la déduction). Les deux premières habiletés du

tableau (observation et classification) pouvant être considérées comme préalables à la démarche expérimentale, voyons plutôt comment les autres habiletés correspondent à ce qu'en disent Piaget et d'autres auteurs; Shayer, Adey et Wylam (1981) ont tenté de classier certains objectifs de l'enseignement des sciences d'après les stades de développement de Piaget;

Figure 2
 Mise en rapport des stades de la théorie opératoire
 et des habiletés liées au raisonnement scientifique (Wood, 1974)

Habiletés	Stades			
	sensori- moteur	pré-opératoire	opératoire concret	opératoire formel
Observation				
-qualitative	✓	✓	✓	✓
-quantitative			✓	✓
Classification				
-un attribut		✓	✓	✓
-attributs multiples			✓	✓
Contrôle des variables				
-une variation			✓	✓
-variations multiples				✓
Généralisation				
-induction			✓	✓
Formulation d'hypothèses				
-aspect "créativité"	*	*	*	*
Vérification d'hypothèse				
-déduction				✓

✓ = niveau approprié

* = recherche insuffisante

Moshman et Thompson (1981) ont proposé une séquence du développement de la vérification des hypothèses; Livermore (1964) a proposé une liste d'habiletés pour les élèves du primaire et des habiletés plus complexes pour les élèves du secondaire.

Selon Inhelder et Piaget (1955), chez un sujet opératoire concret faisant face à un problème s'impose tôt ou tard une nouvelle attitude expérimentale, celle de dissocier les facteurs; cette attitude ne se généralise cependant qu'au stade formel. Ceci correspond à la position de Wood: le sujet opératoire concret est capable de contrôler une variable; s'il y a plusieurs variations à considérer, seul le sujet opératoire formel en est capable. D'après Piaget, seul ce dernier est capable de preuve expérimentale parce qu'il est capable de tenir tous les facteurs constants sauf un. Shayer et al. (1981) font la même distinction entre le sujet opératoire concret et le sujet opératoire formel.

La pensée opératoire concrète n'est pas généralisable, selon Inhelder et Piaget (1955); elle procède seulement domaine par domaine. Elle ne peut donc résoudre de problème posé par l'intersection des domaines. Il y

a donc sur l'habileté d'induction une contradiction entre la théorie opératoire et la position de Wood qui prédit qu'un sujet opératoire concret est capable de passer des faits spécifiques observés et de remonter à la loi qu'ils supposent; Wood (1974) donne l'exemple d'une situation simple (un cube de sucre qui se «liquéfie» sous l'action de l'eau), mais ne précise pas ce qu'il adviendrait dans un contexte plus complexe.

Wood (1974) ne se prononce pas sur l'habileté à formuler des hypothèses, précisant seulement qu'elle fait appel à la créativité. Inhelder et Piaget (1955) ont décrit le type d'hypothèses dont est capable un sujet opératoire concret; dès le départ, ce sujet cherche à coordonner les lectures successives qu'il obtient, ce qui revient à structurer la réalité sur laquelle il agit; ses «hypothèses» consistent en esquisses de projets d'actions possibles et non en prédictions de ce que devrait être le réel si telle ou telle condition hypothétique était remplie. C'est un comportement différent de celui du sujet opératoire formel capable, grâce à la combinatoire, de concevoir le réel comme une partie seulement du possible.

Wood (1974) situe l'habileté à vérifier des hypothèses au stade opératoire formel; Inhelder et Piaget (1955) ont décrit les inférences

concrètes comme étant fondées sur la transitivité des inclusions de classes ou de relations alors que la déduction formelle, basée sur la logique propositionnelle, consiste à relier entre elles des suppositions en tirant les conséquences nécessaires, même lorsque leur vérité expérimentale ne dépasse pas le possible. Moshman et Thompson (1981) proposent une séquence du développement de cette habileté selon le stade opératoire qui rejoint la position de Piaget, en ajoutant un stade de développement après la pensée opératoire formelle, le stade de la "*méta-construction*" correspondant au niveau de fonctionnement cognitif supposé des scientifiques et des philosophes. La figure 3 qui suit est une traduction de la séquence qu'ils proposent pour décrire le développement de l'habileté à vérifier des hypothèses.

La séquence de Moshman et Thompson (1981), illustrée à la figure 3, respecte la distinction que fait Piaget entre les capacités concrètes et les capacités formelles; le sujet opératoire concret est limité à la logique des classes, tandis que le sujet opératoire formel utilise la combinatoire et la logique propositionnelle. Ainsi, le sujet opératoire concret a de la difficulté à se décentrer du contenu concret des données et est enclin à induire des conclusions générales à partir de ces données; il est peu naturel pour ce

Figure 3
Séquences de développement de l'habileté de la vérification d'hypothèse
en relation avec le stade (Moshman et Thompson, 1981)

Séquence	opérations concrètes	Stade opérations formelles	méta-construction
Interprétation d'hypothèse	logique des classes	logique combinatoire	
Vue théorique vs pratique	accent sur application pratique	distinction entre vérification d'hypothèse et utilisation d'hypothèse	applicabilité vue comme vérification de la théorie
Association vs considération des possibles	vérification d'hypothèse et de données par association	lien entre données et multiples possibilités	
Lien entre hypothèse et données	pas de distinction entre hypothèse et données	distinction entre hypothèse et données	pondération des données à partir d'une théorie
Vérification et contraposition	vérification d'hypothèse par recherche de données qui confirment	vérification d'hypothèse par recherche de données qui infirment	conscience des limites de la stratégie de contraposition et recherche d'évidences pour préciser ou étendre la théorie
Lien entre vérité et fausseté	vérité et fausseté égales et opposées	conscience de la possibilité de vé- rification déci- sionnelle à partir d'un cas qui in- firme mais de l'im- possibilité de con- firmer à partir d'un seul cas	limites de la vérification décisionnelle dans le cas de théories complexes

sujet de vérifier une hypothèse parce que pour lui, celle-ci est implicite. Le sujet formel dissocie l'hypothèse de son contenu et celle-ci est conceptualisée comme «hypothétique» et distincte des données; la vérification de l'hypothèse par la recherche de données qui infirment ne constituera pas une preuve en soi mais un indice indirect de l'incapacité d'en démontrer la fausseté, ou encore, la vérification se fera par la démonstration de la fausseté des hypothèses compétitives.

A ces descriptions peuvent s'ajouter les habiletés définies par Livermore (1964) pour l'American Association for the Advancement of Science, citées plus haut. Celui-ci n'a jamais fait de distinction selon les stades du développement, mais il a proposé une séquence d'habiletés pour les élèves du niveau primaire et pour ceux du niveau secondaire. Ainsi, au niveau primaire correspondant au stade opératoire concret, il situe les inférences; au niveau secondaire correspondant au stade formel du développement, il situe la formulation d'hypothèses, le contrôle et la manipulation de variables expérimentales et l'interprétation de données.

Un tableau général, résumant les divers points de vue mentionnés, donne un aperçu global de l'état de la question. Dans la figure 4, les

habiletés inscrites en retrait sont considérées comme sous-jacentes aux étapes du raisonnement scientifique, telles que nous les avons définies.

Figure 4
Résumé des relations suggérées entre les étapes du raisonnement scientifique et le stade opératoire

Étapes	Stades	
	concret	formel
Identification du problème	*	*
Formulation d'hypothèses	Piaget	Piaget, Livermore, Moshman et Thompson
-aspect "créativité"	*	*
Expérimentation		
-contrôle et manipulation de variables		Piaget, Livermore
-contrôle d'une variable	Wood, Shayer et Adey	
-contrôle de plusieurs variables		Piaget, Wood, Shayer et Adey
-dissociation de facteurs		Piaget, Shayer et Adey
Conclusion		
-inférence	Piaget, Livermore Moshman et Thompson Shayer et Adey	
-interprétation des données		Livermore
-généralisation	Wood	Piaget, Shayer et Adey

* = recherche insuffisante

La figure 4 résumant les points de vue des divers auteurs ne donne pas une image complète des relations entre le développement de la pensée et les étapes du raisonnement scientifique. Par exemple, l'une de ces étapes, l'identification du problème, n'est mentionnée par aucun de ces auteurs. Par ailleurs, certaines de ces étapes seraient abordables dès le stade concret, en ne considérant qu'une variable à la fois, par exemple. Mais encore là, il n'y a pas unanimité. Cependant, l'ensemble de ces résultats offre, malgré certaines lacunes, beaucoup de support à l'hypothèse de rapports entre le développement de la pensée opératoire formelle et le raisonnement scientifique, aussi bien au niveau des habiletés de base sous-jacentes qu'au niveau des habiletés «intégrées» correspondant aux étapes classiques du déroulement du raisonnement scientifique.

Il reste que c'est au stade opératoire formel que, de l'avis presque unanime, le sujet a accès à l'ensemble des habiletés reliées au raisonnement scientifique. Si l'on tente de relier chaque habileté intégrée correspondant à chacune des étapes du processus aux structures formelles, les hypothèses suivantes peuvent être esquissées, à titre provisoire, à partir de l'analyse du modèle de la pensée formelle (Inhelder et Piaget,

1955).

L'étape de l'identification du problème pourrait être reliée à la logique propositionnelle; ainsi, un sujet capable d'opérations telles que l'implication, l'équivalence et l'incompatibilité devrait être en mesure de déceler les contradictions ou les incohérences apparentes dans l'observation des situations réelles et d'identifier une cause possible aux faits observés.

L'étape de la formulation d'hypothèse serait reliée à la structure combinatoire et à la logique propositionnelle; le sujet serait en mesure d'imaginer toutes les possibilités et de choisir, une fois construites les associations de base, les combinaisons probantes parmi l'ensemble des combinaisons possibles (Inhelder et Piaget, 1955; Moshman et Thompson, 1981).

L'étape de la planification de l'expérimentation serait aussi reliée à la logique propositionnelle, le sujet étant capable de dissocier des facteurs, de mettre en place des situations permettant à certaines combinaisons de se produire, de contrôler les variables, etc. (Inhelder et Piaget, 1955).

Enfin, l'étape de l'énonciation de la conclusion serait reliée aux schèmes du groupe I.N.R.C., le sujet étant capable d'établir des proportions, des corrélations et des mises en rapport lui permettant d'identifier les relations entre les variables (Inhelder et Piaget, 1955). Ces hypothèses quant aux rapports entre chacune des structures de la pensée formelle et chacune des étapes du raisonnement scientifique pourront être vérifiées expérimentalement.

3.2 Vérifications expérimentales

La théorie de Piaget a inspiré un grand nombre d'études sur l'enseignement des sciences. Même si les relations entre le raisonnement scientifique et la pensée opératoire formelle ne sont pas définitivement établies, la très grande majorité des recherches expérimentales répertoriées supportent l'existence d'un tel lien (Weber et Renner, 1972; Allen, 1973; Linn et Thier, 1975; Boyer et Linn, 1978; Padilla, 1980). Ainsi, à la suite d'une expérimentation visant spécifiquement à faire acquérir aux élèves le raisonnement scientifique, Tobin et Capie (1981) ont obtenu une corrélation de 0,60 entre le stade opératoire des élèves et leurs résultats

en raisonnement scientifique. Bass et Maddux (1982) ont aussi trouvé une relation significative entre la capacité des élèves à reconstruire une explication scientifique et leur stade opératoire. Lawson et al. (1975) avaient aussi trouvé une relation significative entre le raisonnement scientifique et le stade opératoire, mais l'instrument utilisé était un test de connaissances scientifiques et non un test portant sur le raisonnement scientifique comme tel. Ces résultats, joints à ceux d'autres chercheurs ayant trouvé une relation avec la réussite des cours de sciences ou avec l'acquisition de connaissances scientifiques (Lawson et al., 1975; Ward et Herron, 1980; Shayer et al., 1981; Torkia-Lagacée, 1981) confirment indirectement l'hypothèse d'un rapport entre le stade opératoire et le raisonnement scientifique. Hartford et Good (1982) n'ont toutefois pas trouvé de relation entre la capacité des élèves à poser des questions d'investigation ("*research questions*") et leur stade opératoire. Et dans une expérience d'apprentissage, Padilla, Okey et Garrard (1984) n'ont pas observé d'effets d'interaction entre le progrès réalisé par les élèves en ce qui concerne le raisonnement scientifique et celui réalisé en termes de stade opératoire, sur une période de quatorze semaines.

Dans l'étude déjà citée de Padilla, Okey et Dillashaw (1983), les

résultats obtenus par les élèves de la septième à la douzième année aux habiletés scientifiques étaient, on s'en souviendra, supérieurs à 50%. Leurs résultats au test sur la pensée formelle, de type papier-crayon, paraissent dans le tableau suivant (il s'agit de moyennes transformées en pourcentages).

Tableau III

Pourcentages de réussite observés au test sur la pensée formelle des sujets de la septième à la douzième année (Padilla et al., 1983)

Schémas formels	Niveaux scolaires					
	7	8	9	10	11	12
Proportionnalité	17,0	12,5	28,0	38,0	62,5	65,5
Contrôle des variables	30,0	31,5	34,5	49,5	55,0	71,0
Probabilité	16,5	21,5	32,5	40,5	46,0	58,5
Corrélation	41,0	36,5	50,0	43,5	57,5	71,0
Combinatoire	27,6	28,8	37,9	44,8	57,0	68,1
Total	27,6	28,8	37,9	44,8	57,0	68,1

Les données du tableau III indiquent une progression constante et substantielle de la septième à la douzième année. Il est à remarquer que la progression était beaucoup moins forte au test mesurant les habiletés scientifiques. Ces résultats donnent l'impression que la période

d'acquisition est mieux couverte ici. Padilla et ses collaborateurs (1983) présentent leurs résultats en scores et non en stades comme le font généralement les chercheurs à partir de la théorie de Piaget; il n'est donc pas possible de comparer directement leurs résultats à d'autres déjà cités, par exemple pour obtenir le niveau d'accession au stade formel à chacune des épreuves. Il est à remarquer toutefois que les gains les plus importants en pourcentages sont réalisés pour quatre des six épreuves entre le niveau 11 et le niveau 12, soit l'équivalent de la cinquième secondaire et la première année collégiale dans notre contexte. Les résultats au test scientifique (tableau I) ne montraient plus beaucoup de progrès toutefois à partir du niveau 10, soit l'équivalent de la quatrième secondaire. D'après ces deux séries de mesures, les progrès des habiletés scientifiques ne coïncideraient pas parfaitement avec ceux réalisés aux épreuves formelles.

Les relations trouvées par Padilla et al. (1983) entre les deux séries de mesures, les scores observés au test mesurant les habiletés reliées au raisonnement scientifique et les scores observés aux épreuves mesurant la pensée formelle paraissent au tableau IV.

Tableau IV
Intercorrélations (coefficients r de Pearson) entre les habiletés scientifiques et les épreuves formelles (Padilla et al., 1983)

	Proportionnalités (INRC)	Contrôle variables (Log. p.)	Probabilités (INRC)	Corrélations (INRC)	Combinaisons (Comb.)
Hypothèse	0,38	0,39	0,41	0,35	0,28
Identification de variables	0,35	0,30	0,37	0,35	0,26
Définition opérationnelle	0,30	0,34	0,32	0,30	0,30
Planification d'expérience	0,32	0,27	0,33	0,27	0,32
Interprétation de graphiques et de données	0,34	0,33	0,39	0,32	0,31

Toutes les habiletés étudiées sont en corrélation avec les diverses épreuves formelles administrées (coefficients r de Pearson variant de 0,26 à 0,41). Pour l'épreuve combinatoire, cependant, les coefficients de corrélation sont tous un peu plus faibles avec les habiletés scientifiques que ce n'est le cas pour les autres épreuves formelles; en ce qui concerne l'épreuve de probabilité, les liens semblent au contraire un peu plus forts; inversement, l'habileté planification de l'expérience est un peu moins fortement reliée que les autres aux épreuves formelles.

Même si les auteurs affirment qu'il existe une relation entre le stade opératoire et les habiletés reliées au raisonnement scientifique, ces données ne peuvent être considérées comme concluantes car, d'une part, les corrélations trouvées ne sont pas très élevées et, d'autre part, la possibilité que plusieurs de ces variables mesurent en partie la même chose fait courir le risque d'une redondance d'informations (Barker et Barker, 1984); c'est vraisemblablement le cas pour certaines épreuves formelles et certaines habiletés scientifiques; les corrélations peuvent se trouver amplifiées. De plus, les tests mesurant la pensée formelle utilisés dans cette étude étaient de type papier-crayon; la validité et la fiabilité de ces mesures n'a pas été démontrée; selon Pelletier et al (1985), l'administration individuelle des tests, selon la méthode clinique, permettrait de mieux mesurer la pensée opératoire formelle, particulièrement chez des sujets vraisemblablement en transition, durant l'adolescence, entre la pensée concrète et la pensée formelle.

Yeany, Yap et Padilla (1986) ont tenté de hiérarchiser certaines habiletés formelles et certaines habiletés reliées au raisonnement scientifique, les habiletés dites «intégrées», définies par Livermore (1964)

comme des habiletés plus complexes intégrant des habiletés de base. Leur analyse montre que les habiletés retrouvées à la base de la pyramide construite à partir des résultats sont les habiletés formelles, qui seraient préalables aux habiletés scientifiques dites «intégrées».

L'analyse réalisée par Lawson (1985) des résultats de diverses recherches portant sur les liens entre l'enseignement des sciences et la pensée formelle permet de dégager quelques conclusions. En premier lieu, le raisonnement formel serait un bon prédicteur des habiletés scientifiques d'investigation; en second lieu, le raisonnement formel ne se réduirait pas au raisonnement scientifique car il est aussi relié de manière consistante à la réussite des autres disciplines.

La majorité des recherches recensées ici contribuent très généralement à valider les liens entre la pensée opératoire formelle et le raisonnement scientifique et donc, à appuyer le choix de la théorie piagétienne comme base de la présente recherche.

4. Cours de sciences et acquisition du raisonnement scientifique

La détermination du rôle joué par les cours de sciences dans l'acquisition du raisonnement scientifique doit s'appuyer sur une revue critique des recherches déjà réalisées. Mais auparavant, il faut souligner notre intention de situer cette étude dans le contexte piagétien, en considérant les cours de sciences comme l'un des facteurs du développement cognitif, le facteur expérience, acquis en fonction du milieu physique; nous présenterons ensuite une autre position que celle de Piaget, soit une explication faisant appel aux cours de sciences comme à un facteur spécifique déterminant l'acquisition du raisonnement scientifique.

4.1 Contexte théorique

La position d'Inhelder et de Piaget (1955) est que chaque sujet développe sa propre capacité générale de faire face à des contenus de plus en plus complexes, selon ses expériences, mais aussi selon son niveau de maturation neurologique et ses interactions sociales, ces trois facteurs interagissant et étant réglés par un quatrième, le facteur d'équilibration; dans le cadre de cette recherche, les cours de sciences constituent l'une des

composantes de l'expérience acquise par les sujets de niveau secondaire. Comme nous l'avons vu précédemment, s'il y a déséquilibre cognitif, c'est-à-dire échec dans la résolution d'un problème, le sujet tend à réorganiser sa pensée de façon à résoudre le problème rencontré. Il y a donc alors déclenchement du processus d'équilibration. Pour Piaget, tous les facteurs nommés sont importants et contribuent à faire passer le sujet d'un stade à l'autre du développement cognitif. En conséquence, Piaget (voir Lawson et al., 1975) déclare qu'il serait complètement inutile d'enseigner directement certaines connaissances aux sujets qui n'ont pas atteint le stade qui assure la présence des structures préalables à cet apprentissage spécifique; dans ce texte, Piaget fait référence au contexte particulier de l'apprentissage de concepts scientifiques. En résumé, le niveau cognitif atteint par les sujets formels, par exemple, est un niveau de fonctionnement général où un certain nombre d'habiletés ou de stratégies dépendant de structures, comme les habiletés à classer de manière complète, à combiner, à déduire suivant seize propositions différentes, à utiliser indifféremment les types d'inversion (I, N, R et C), peuvent s'être développés dans n'importe quel domaine et peuvent être utilisés dans n'importe quel domaine, y compris là où ces habiletés n'ont encore jamais été exercées, moyennant un temps relativement bref de familiarisation

avec un nouveau contexte.

Par ailleurs, une position différente de la théorie de Piaget tend à privilégier, dans l'apprentissage, le seul facteur d'expérience spécifique ou de connaissances spécifiques préalables. Selon Ausubel (1969), le facteur le plus important influençant l'apprentissage par voie déductive et verbale, à tout le moins dans un domaine donné, est ce que l'apprenant sait déjà dans ce domaine. Il reconnaît toutefois que d'autres facteurs peuvent jouer, dont le niveau cognitif préalable, mais dans une moindre mesure, le facteur primordial étant l'expérience spécifique au domaine donné; ainsi, le niveau de développement cognitif d'un sujet serait toujours en lien étroit avec le niveau de difficulté d'un problème et le degré de familiarité du sujet avec le domaine dans lequel s'inscrit le problème (voir Ausubel, 1964). À la suite d'Ausubel, d'autres chercheurs ont centré leur approche uniquement sur le facteur d'expérience, notamment Novak (1977). Lovell (1980) qualifie ces auteurs «d'intégrationnistes», car, selon eux, l'acquisition de connaissances particulières dépend de l'apprentissage d'un ensemble d'habiletés dont l'intégration chez le sujet mène à la formation de schèmes qui serviront lors d'apprentissages ultérieurs. Contrairement aux piagétiens, les intégrationnistes considèrent cependant qu'un seul

facteur est à la base de la formation de ces schèmes, soit l'expérience du sujet dans des domaines spécifiquement reliés.

L'auteur le plus connu de ce groupe est probablement Gagné (1970). Selon son modèle de la hiérarchisation des habiletés, l'enseignant, ou le concepteur de programmes, évalue les habiletés sous-jacentes que doit posséder l'apprenant avant d'apprendre des habiletés plus complexes; ces habiletés sous-jacentes peuvent être organisées en une hiérarchie d'habiletés, de telle sorte que l'apprenant passe, lors de l'apprentissage de l'objectif visé, à travers un certain nombre d'étapes qui ont été déterminées par une analyse de la tâche. Son modèle tient compte de l'analyse de contenu de la tâche, mais non des opérations cognitives préalables aux habiletés requises.

Même s'il y a des différences entre les divers modèles proposés par les tenants du groupe intégrationniste, il y en a beaucoup moins qu'entre eux et les modèles d'inspiration piagétienne. Ces deux types d'approches tiennent compte de l'expérience du sujet, c'est-à-dire de ce qu'il connaît déjà (Ausubel, 1964). Les intégrationnistes s'attardent pour ainsi dire exclusivement à l'étude poussée de ce facteur considéré de manière

spécifique et en lien avec chaque apprentissage visé, alors que les piagétiens s'attachent au contraire à l'étude des stades et des mécanismes généraux du développement cognitif, l'expérience étant considérée par eux comme un facteur général de développement parmi d'autres. Ainsi, dans le contexte de l'apprentissage du concept de la densité, il suffit aux intégrationnistes que le sujet soit capable d'utiliser les concepts spécifiques sous-jacents de masse et de volume, alors que pour les piagétiens qui considèrent aussi comme nécessaires mais non suffisantes ces notions de masse et de volume, il faut de plus que le sujet ait construit le schème des proportions, peu importe d'ailleurs dans quel domaine, la preuve de l'existence de ce schème étant la capacité du sujet à l'appliquer dans d'autres contextes que celui de la densité. Il faut évidemment que le schème se construise et apparaisse quelque part une première fois mais, d'un point de vue piagétien, la généralisation devrait être rapide.

Voyons les hypothèses suggérées par ces deux approches, la théorie opératoire du développement cognitif et la théorie intégrationniste, le facteur d'expérience étant ici assimilé aux cours de sciences suivis par les élèves en vue de l'acquisition du raisonnement scientifique. Selon les intégrationnistes, la familiarisation progressive d'un sujet avec ce mode de

raisonnement par les cours de sciences suivis devrait l'amener à une plus grande maîtrise, en partant du principe que les cours de sciences contribuent à faire apprendre ce type de raisonnement. Cette position conduirait à privilégier l'expérience, soit les cours de sciences, comme facteur exclusif expliquant l'acquisition du raisonnement scientifique.

La théorie de Piaget nous amène à considérer que quatre grands facteurs affectent l'équilibre cognitif du sujet et sont source de changement. Il n'est pas possible de mesurer directement certains de ces facteurs, par exemple les interactions sociales; mais il est possible de considérer le stade opératoire du sujet comme la résultante de ces facteurs et la fréquentation des cours de sciences comme une composante du facteur d'expérience. Cette position permettrait de prendre en considération à la fois le facteur spécifique d'expérience que constituent les cours de sciences, la maturation neurologique telle que mesurée par l'âge des sujets et le stade de développement comme une résultante des interactions entre ces deux facteurs et celui de l'interaction sociale et de faire jouer simultanément maturation, expérience spécifique et stade global de développement.

Un relevé critique des recherches effectuées dans les limites des contextes théoriques décrits pourra permettre de choisir entre ces deux approches et de circonscrire nos propres objectifs.

4.2 Vérifications expérimentales

Dans la littérature, on n'a trouvé aucune étude comparant l'acquisition du raisonnement scientifique par des sujets suivant des cours de sciences et par des sujets n'en suivant pas; les études réalisées mesurent plutôt l'impact de programmes spécifiques ou de méthodes pédagogiques particulières. Les données, obtenues au niveau primaire et en début de secondaire principalement, semblent indiquer que certains programmes et certaines méthodes d'enseignement prônant le développement d'habiletés reliées au raisonnement scientifique influencent de façon significative l'acquisition de certaines de ces habiletés (Butzow et Sewell, 1972; Weber et Renner, 1972; Allen, 1973; Boyer et Linn, 1978; Padilla, Okey et Garrard, 1984).

Les études démontrent que si l'enseignement favorise délibérément les habiletés reliées au raisonnement scientifique, il peut y avoir

apprentissage de certaines de ces habiletés chez les élèves. Mais une étude du Conseil des sciences de Canada (1984) indique toutefois qu'en pratique, on demande très peu aux élèves dans ce domaine, les programmes s'en tenant aux habiletés les plus élémentaires. La question de savoir si les cours de sciences actuels favorisent l'acquisition du raisonnement scientifique chez les élèves reste donc ouverte. Car même lorsqu'une étude conclut dans le sens d'un progrès, par exemple celle de DesLierres (1980), la question se pose de savoir s'il s'agit d'une progression due aux cours de sciences suivis ou au développement normal des sujets, développement qui pourrait résulter de facteurs neurologiques, sociaux et expérimentiels plus généraux, comme le suppose la théorie de Piaget.

Les études réalisées dans le contexte piagétien tracent une image plus claire des liens entre pensée opératoire formelle et raisonnement scientifique. Toutefois, aucune de ces études ne tient compte de l'influence possible d'autres facteurs, comme la fréquentation des cours de sciences, par exemple. L'échantillon de l'étude déjà citée de Padilla, Okey et Dillashaw (1983) comprenait des sujets qui suivaient des cours de sciences et d'autres qui n'en suivaient pas; mais les analyses n'ont pas tenu compte de cette distinction.

Par ailleurs, certains chercheurs travaillant dans le contexte piagétien, tels Hofstein et Mandler (1985) remettent en question l'importance des facteurs autres que l'expérience préalable du sujet. Leurs résultats démontrent qu'une faible proportion seulement de la variance de la réussite en mathématiques et en sciences est expliquée par la réussite à des tâches formelles, le coefficient de corrélation multiple R^2 variant de 0,05 à 0,18 sauf en biologie où il varie de 0,11 à 0,25. S'appuyant sur la revue de littérature effectuée par Wollman (1982) démontrant qu'il est fréquent de rencontrer des sujets formels à certaines tâches et concrets à d'autres, ces chercheurs se demandent s'il ne faut pas y voir un appui à Novak (1977) d'après qui le succès à certaines tâches dépend de l'apprentissage de concepts spécifiques et non du développement d'opérations cognitives générales. Ces données appuieraient donc l'hypothèse intégrationniste faisant de l'expérience spécifique seule le facteur influençant l'apprentissage du raisonnement scientifique.

Par contre, les résultats des études de Halford (1978a, 1978b) amènent à conclure dans le sens opposé, car ce chercheur a identifié des contraintes relatives à l'âge dans la réalisation de certains apprentissages.

Et selon lui, la théorie intégrationniste n'expliquerait bien que les résultats obtenus avec des sujets formels, c'est-à-dire en possession d'une structure cognitive préalable.

Alors qu'il semble y avoir une relation entre le raisonnement scientifique et le stade opératoire, quoique les habiletés dites «intégrées» mesurées dans ces études soient de niveaux distincts (Demers et Allaire, 1987) et que la relation claire entre les structures formelles et ce qu'on a appelé les habiletés scientifiques ne soit pas parfaitement établie, il en va autrement en ce qui concerne l'influence des cours de sciences sur l'acquisition du raisonnement scientifique: il n'y a pas de résultats concluants. Ceci nous ramène aux deux positions théoriques relatives à l'influence de divers types de facteurs sur l'apprentissage. D'une part, l'hypothèse «intégrationniste» prédit que l'acquisition du raisonnement scientifique devrait être directement influencée par le nombre de cours de sciences suivis car ils ont tous comme objectif de développer le raisonnement scientifique chez les élèves. D'autre part, l'hypothèse «piagétienne» nous permet de prédire une interaction entre divers facteurs en regard de l'acquisition du raisonnement scientifique: le stade opératoire du sujet considéré comme la résultante du processus

d'équilibration et deux facteurs pris isolément parmi les quatre facteurs du développement identifiés par Piaget, soit la fréquentation des cours de sciences et la maturation des sujets. Nous pouvons résumer ces deux positions en indiquant que l'hypothèse intégrationniste privilégie un seul facteur pour expliquer l'apprentissage alors que l'hypothèse piagétienne tient compte de plusieurs facteurs, dont le stade opératoire constitue la résultante.

Les résultats des études antérieures ne permettent pas de trancher nettement entre ces deux positions, les cours de sciences n'ayant pas fait l'objet d'évaluations précises, particulièrement en ce qui concerne leur impact sur l'acquisition des habiletés plus complexes reliées au raisonnement scientifique. Toutefois, les liens mesurés entre certaines habiletés et la pensée formelle nous incitent à retenir l'hypothèse piagétienne. Ces considérations nous amènent à poser le problème de la recherche.

5. Objectifs et hypothèses de la recherche

Notre revue de la documentation a fourni des indices sur le type de relation pouvant exister entre l'acquisition du raisonnement scientifique et la pensée formelle. Cependant, étant donné qu'une seule étude, celle de Padilla, Okey et Dillashaw (1983) a donné lieu à une analyse assez détaillée des rapports entre les deux, il paraît souhaitable de poursuivre la recherche et d'en préciser certains aspects, notamment en considérant les habiletés plus globales correspondant aux étapes du raisonnement scientifique plutôt que les habiletés définies par Livermore (1964), qui incluent à la fois des habiletés globales correspondant aux étapes et des habiletés sous-jacentes à ces étapes. D'autre part, la question de l'acquisition du raisonnement scientifique en fonction du bagage d'apprentissage scientifique des élèves, c'est-à-dire du nombre de cours de sciences suivis, n'a pas été posée directement, et n'est donc pas résolue jusqu'à présent. Les données relatives aux caractéristiques du raisonnement scientifique d'une part et à la pensée opératoire formelle d'autre part conduisent à poser le problème sous la forme suivante.

Y a-t-il influence du stade opératoire, de la fréquentation des cours de sciences et de la maturation des sujets sur l'acquisition du raisonnement scientifique? Y aurait-il interaction entre ces facteurs en ce qui concerne l'acquisition de ce type de raisonnement ?

Nous posons donc la question de l'effet éventuel du stade de développement opératoire, de l'expérience scientifique et de la maturation sur l'acquisition du raisonnement scientifique, ce qui permettra de vérifier l'hypothèse piagétienne et l'hypothèse intégrationniste. Cependant, pour les raisons déjà évoquées, nous poserons notre hypothèse de base selon la perspective piagétienne. L'étude théorique et empirique de la question des rapports entre la pensée formelle et le raisonnement scientifique nous amène à prendre en considération les interactions entre ces divers facteurs. Les facteurs mesurables dans cette recherche étant la résultante de l'équilibre cognitif atteint par le sujet, c'est-à-dire son stade opératoire, et deux facteurs pris isolément, l'expérience spécifique venant des cours de sciences suivis et la maturation définie par l'âge moyen des sujets, nous pouvons émettre les hypothèses qui suivent.

D'après notre hypothèse générale, **le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et la maturation définie par l'âge exercent une influence conjointe sur l'acquisition du raisonnement scientifique**; par influence conjointe, nous entendons une influence exercée en interaction. Cette hypothèse n'exclut pas une influence individuelle des facteurs mentionnés sur l'acquisition du processus scientifique. Ainsi:

- **le stade opératoire exerce une influence sur l'acquisition du raisonnement scientifique**
- **la fréquentation des cours de sciences exerce une influence sur l'acquisition du raisonnement scientifique**
- **la maturation des sujets exerce une influence sur l'acquisition du raisonnement scientifique**

Enfin, des hypothèses sont formulées concernant les relations plus spécifiques pouvant exister entre les quatre habiletés de raisonnement scientifique, soit l'identification du problème, la formulation d'hypothèse, la planification de l'expérimentation et l'énonciation de la conclusion, et

chacune des composantes de la pensée formelle, soit la structure combinatoire, le groupe I.N.R.C. et la logique propositionnelle. D'après l'étude du modèle piagétien, les hypothèses suivantes sont proposées.

- l'étape *identification du problème* du raisonnement scientifique est plus spécifiquement reliée à la *logique propositionnelle*
- l'étape *formulation d'hypothèse* est plus spécifiquement reliée à la *structure combinatoire* et à la *logique propositionnelle*
- l'étape *planification de l'expérimentation* est plus spécifiquement reliée à la *logique propositionnelle*
- l'étape *énonciation de la conclusion* est plus spécifiquement reliée au *groupe I.N.R.C.*

Le but de la recherche est de vérifier ces hypothèses par l'administration d'un test portant spécifiquement sur chacune des étapes du raisonnement scientifique, mesurant ainsi les divers aspects de la variable dépendante, et par l'administration individuelle d'épreuves de pensée formelle, la principale variable indépendante. La fréquentation des cours de sciences et l'âge des sujets constituent les autres variables indépendantes de cette recherche.

Chapitre II

Description de l'expérience

La vérification d'un lien entre la pensée opératoire formelle, la fréquentation des cours de sciences, la maturation des sujets et le raisonnement scientifique passe par l'administration d'épreuves opératoires formelles et d'un test mesurant le raisonnement scientifique chez des sujets d'âges différents qui suivent un nombre varié de cours de sciences. Ce chapitre décrit les épreuves utilisées, les caractéristiques de l'échantillon et le déroulement concret de l'expérimentation.

1. Épreuves expérimentales

Cette section a pour objet de décrire les épreuves opératoires, de justifier leur choix et de présenter le test mesurant le raisonnement scientifique.

1.1 Épreuves formelles

Choix des épreuves

Dans le choix des épreuves opératoires, le premier but poursuivi a été de bien distinguer entre sujets formels et sujets non formels afin de nous permettre de vérifier la relation entre la pensée opératoire formelle et l'acquisition du raisonnement scientifique. Les épreuves devant fournir un bon diagnostic de ce niveau de pensée, chacune doit présenter plusieurs problèmes de nature formelle. Le choix des épreuves s'est donc inspiré de recherches antérieures basées sur l'utilisation d'épreuves classiques proposées par Piaget et ses collaborateurs. Ces épreuves sont rarement réussies avant l'âge de douze ans et la nature formelle des solutions ressort des analyses faites par Longeot (1969) et Nassefat (1963), à la suite des travaux de Piaget et d'Inhelder (1951, 1955). Nous inspirant des travaux plus récents de Lapierre (1981), Allaire-Dagenais (1977, 1983) et Aubé-Tremblay (1971), nous avons enlevé des épreuves originales les items très faciles, de niveau concret, et avons ajouté des items plus complexes, de niveau formel.

Comme il est possible que l'une des structures de la pensée formelle soit plus particulièrement reliée au raisonnement scientifique, nous avons choisi des épreuves mettant plus clairement en évidence chacune de ces structures. Nous avons retenu deux épreuves représentant le *groupe I.N.R.C.* : l'équilibre de la balance et la quantification des probabilités, une épreuve représentant la *structure combinatoire* : les permutations de jetons, et une épreuve représentant la *logique propositionnelle* : l'implication. Toutes ces épreuves ont été administrées individuellement.

Description des épreuves

Les épreuves représentant le groupe I.N.R.C. font toutes deux appel au schème de la proportionnalité (voir en appendice A les consignes détaillées de ces épreuves).

La réussite de l'épreuve de l'équilibre de la balance nécessite une quantification exacte des proportions, donc un raisonnement de nature formelle. Le choix des items de cette épreuve s'inspire des travaux de Allaire-Dagenais (1977, 1983). Le matériel utilisé consiste en une balance à deux fléaux, chacun étant percé de 32 trous équidistants auxquels on

peut accrocher des cubes de différentes couleurs ayant le même volume mais pesant de 10 à 80 grammes. Le sujet fait lui-même les manipulations (accrocher les cubes) mais l'expérimentateur contrôle le déroulement de l'expérience. L'épreuve comporte huit items de niveau croissant de difficulté; les deux premiers items (préparatoires) permettent au sujet de se familiariser avec le matériel et à l'expérimentateur de vérifier la présence ou l'absence chez le sujet d'une compréhension des relations qualitatives entre masses et distances, relations accessibles dès le stade concret de la pensée opératoire. La réussite des problèmes qui suivent suppose une quantification exacte de la proportionnalité, un type de raisonnement accessible au stade formel seulement. Dans le premier de ces problèmes, l'expérimentateur présente au sujet une situation d'équilibre déjà établie entre deux cubes placés l'un au neuvième trou à gauche et l'autre au dix-huitième à droite; le sujet doit déduire le rapport de masses entre les deux cubes (deux à un). Dans les cinq autres problèmes, le sujet doit déterminer par lui-même soit la masse à accrocher à un endroit indiqué par l'expérimentateur, soit l'endroit où accrocher une masse prédéterminée. Il s'agit pour le sujet de compenser quantitativement l'action d'une masse sur la balance par une action inverse sur la distance. La réussite des items nécessite la compréhension

de proportions de plus en plus complexes de $1/2$ (masses de 40g et 80g, distances de 6 et 3), de $1/4$ (masses de 20g et 80g, distances de 24 et 6), de $1/3$ (masses de 60g et 20g, distances de 7 et 21), de $3/4$ (masses de 30g et 40g, distances de 8 et 6) et de $2/3$ (masses de 20g et 30g, distances de 9 et 6). Le schème du groupe I.N.R.C. mis en jeu ici est celui de la proportionnalité quantitative, comme dans l'épreuve suivante.

Dans l'épreuve de la quantification des probabilités, le matériel utilisé est constitué de deux sortes de jetons blancs, certains marqués d'un X et d'autres non marqués. Avec ces deux sortes de jetons, l'expérimentateur forme deux paquets à la vue du sujet et lui demande d'indiquer celui dans lequel il a le plus de chances de piger un jeton avec un X et de justifier sa réponse. Cette épreuve comporte neuf items gradués par ordre croissant de difficulté. Le choix des items de cette épreuve s'inspire des travaux de Piaget et Inhelder (1951), de Longeot (1969) et de Nassefat (1963). Le premier item (préparatoire) permet au sujet de se familiariser avec le matériel et de bien saisir les consignes. Les deux problèmes suivants peuvent être résolus par des raisonnements de type opératoire concret car il suffit au sujet de tenir compte d'une seule des variables concernées dans les rapports impliqués: les jetons marqués X

seulement dans le rapport $1/4$ versus $2/4$ et les jetons non marqués seulement dans le rapport $3/5$ versus $3/7$. Les auteurs ne s'entendent pas sur la nature opératoire de l'item suivant: $2/4$ versus $1/2$, Piaget (1974) le situant au stade concret, Longeot (1969) au stade intermédiaire entre pensée concrète et pensée formelle et enfin Nassefat (1963) au stade formel. Nous avons retenu la solution la plus conservatrice dans l'optique de l'attribution d'un stade formel et avons classé provisoirement cet item au stade concret. Tous les items qui suivent sont de niveau formel car ils impliquent la notion de proportionnalité et exigent la compréhension de relations de plus en plus complexes entre les rapports: $1/4$ versus $3/8$, $2/6$ versus $3/9$, $1/3$ versus $2/5$, $3/4$ versus $2/3$ et finalement, $2/6$ versus $3/8$. Le protocole de l'épreuve se trouve à l'appendice A.

L'épreuve des permutations de jetons représente la structure combinatoire de la pensée formelle. Inspirée directement de l'épreuve utilisée par Inhelder et Piaget (1955), elle n'a pratiquement pas été modifiée depuis. Le matériel consiste en piles de jetons de différentes couleurs. La tâche du sujet consiste à faire le plus grand nombre de «lignes» possibles en alignant des jetons tirés des piles de jetons de couleurs différentes, n'utilisant qu'un jeton de chaque couleur par ligne.

L'expérimentateur démontre d'abord la tâche à accomplir en utilisant deux piles de jetons seulement (deux couleurs); cet item préparatoire a pour but de bien faire comprendre la tâche. Le premier item comporte trois piles de jetons, permettant de construire six lignes différentes. Le sujet peut y parvenir par tâtonnement car la réussite n'exige pas de méthode systématique. Ce problème est donc de niveau opératoire concret. En cas d'échec du sujet à aligner systématiquement les six rangées de jetons, l'expérimentateur résout lui-même le problème devant le sujet en faisant varier les deux dernières couleurs et en gardant la première constante, sans donner d'explication verbale ou faire de commentaire. Le deuxième item permet, à partir de quatre piles de jetons, de former 24 lignes différentes. Cet item exige du sujet qu'il suive une méthode systématique, c'est-à-dire qu'il fasse alterner les deux dernières couleurs en maintenant les deux premières constantes. Il s'agit d'un problème qui ne peut être résolu que par une solution de nature formelle. Le troisième item, inspiré de Allaire-Dagenais (1983), propose cinq piles de jetons et la consigne est de faire une dizaine de lignes différentes, puis d'extrapoler le nombre total de lignes qu'il serait possible de faire. La nature formelle de la solution réside dans le fait qu'il faut utiliser une méthode systématique, c'est-à-dire faire varier les deux dernières couleurs en tenant les trois

premières constantes. Le calcul du nombre total de lignes (120) exige nettement du sujet la capacité de prévoir toutes les possibilités avec chacune des couleurs, soit cinq groupes de 24 lignes. Cette épreuve mesure bien la capacité du sujet à envisager tous les cas possibles, donc la composante combinatoire de la pensée formelle. Le protocole de cette épreuve est à l'appendice A.

La logique propositionnelle est représentée par une épreuve d'implication, l'une des seize opérations binaires, qui relève à la fois du groupe I.N.R.C. et de la structure combinatoire. Cette épreuve a été étudiée par Matalon (1962). L'épreuve choisie, celle des ampoules, s'inspire de celles utilisées par Allaire-Dagenais (1977) et Aubé-Tremblay (1971) et a été légèrement modifiée afin d'en éliminer une composante spatiale en juxtaposant les figures plutôt qu'en les faisant s'opposer sur les deux faces du matériel utilisé. Ce matériel consiste en cartons, chacun étant divisé en deux parties sur lesquelles figure une ampoule. À une extrémité, une ampoule pointue est dessinée et à l'autre extrémité, une ampoule ronde; chacune peut être allumée ou éteinte. La règle d'implication énoncée devant le sujet est la suivante: ***lorsque sur un carton la lumière pointue est allumée, la ronde qui est à côté doit être éteinte***

L'épreuve comporte quatre problèmes d'inférence et un problème de vérification. Dans les problèmes d'inférence, le sujet doit décider, à partir de ce qui est dessiné à une extrémité du carton que lui présente l'expérimentateur, ce qu'il peut y avoir à l'autre bout, tout en respectant la règle. Deux inférences sont déterminées, c'est-à-dire supposent une réponse unique, et leur solution est de nature opératoire concrète. Les deux autres inférences sont indéterminées, deux réponses étant possibles chaque fois, et sont résolues à l'aide d'un raisonnement de type formel. Lors de l'item de la vérification, le sujet doit choisir parmi trois cartons dont une moitié est cachée celui qui pourrait démontrer la véracité ou la fausseté de la règle d'implication. Sur les trois cartons présentés, il y a une *ampoule pointue éteinte*, une *ampoule ronde éteinte* et une *ampoule ronde allumée*. Le troisième carton seulement peut illustrer le cas qui contredirait la règle si une ampoule pointue allumée se trouvait sous la partie cachée du carton; c'est donc ce carton que doit choisir le sujet. Cette épreuve exige que le sujet soit capable de situer l'implication dans l'ensemble des combinaisons possibles et de décider de sa compatibilité avec chacune de ces combinaisons; cette dernière activité démontre l'intervention du groupe I.N.R.C. dans le raisonnement propositionnel. Le protocole de cette épreuve se trouve à l'appendice A.

Attribution des stades

Voyons ce qui caractérise l'attribution des stades aux quatre épreuves. Le détail de la clé de correction pour chacune des épreuves se retrouve à l'appendice A. À l'épreuve de l'équilibre de la balance, le stade 1 est attribué aux sujets qui appliquent une solution qualitative aux items de proportionnalité, manifestant un comportement de niveau opératoire concret; ces sujets comprennent qu'ils doivent compenser une masse plus petite par une distance plus grande. Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent quantitativement les items présentant des rapports simples de proportionnalité (par exemple, une distance trois fois plus grande pour une masse trois fois plus petite), démontrant un niveau intermédiaire de développement. Enfin, le stade 3 est réservé aux sujets qui réussissent également les items faisant intervenir des rapports plus complexes de proportionnalité (par exemple, un rapport de distance de $4/3$ pour compenser des masses qui sont dans un rapport de $3/4$), illustrant la nature opératoire formelle de la solution.

À l'épreuve de la quantification des probabilités, le stade 1 est

attribué aux sujets qui n'appliquent que des solutions partielles pour résoudre les premiers items, en ne considérant par exemple que l'une des deux sortes de jetons; ce comportement est de niveau opératoire concret. Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent quantitativement les items présentant des rapports simples de proportionnalité (par exemple, $1/4$ versus $3/8$), manifestant un comportement de niveau intermédiaire de développement. Enfin, le stade 3 est attribué aux sujets qui réussissent également les items faisant intervenir des rapports plus complexes de proportionnalité (par exemple, $3/4$ versus $2/3$), illustrant la nature opératoire formelle de la solution.

À l'épreuve des permutations de jetons, le stade 1 est attribué aux sujets qui réussissent plus ou moins systématiquement les permutations avec trois couleurs de jetons mais qui ne peuvent réussir les permutations à quatre couleurs, utilisant des systèmes partiels appliqués de façon non systématique; ce comportement illustre le niveau opératoire concret de ce stade. Le stade 2 est attribué aux sujets qui découvrent en cours d'entrevue une méthode systématique pour rechercher les permutations avec quatre couleurs mais qui ne peuvent la généraliser aux permutations à cinq couleurs, démontrant un comportement de niveau

intermédiaire de développement. Enfin, le stade 3 est réservé aux seuls sujets capables de généraliser la solution aux permutations à cinq couleurs et de prédire le nombre total de permutations possibles, démontrant ainsi la nature opératoire formelle de la solution.

À l'épreuve d'implication, le stade 1, de niveau opératoire concret, est attribué aux sujets qui réussissent au mieux les deux inférences déterminées, où une seule réponse est possible (par exemple, avec une ampoule *pointue allumée*, il ne peut y avoir qu'une ampoule *ronde éteinte*). Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent en plus des inférences déterminées, l'une des inférences indéterminées, où il y a plus d'une réponse possible (par exemple, avec une ampoule *pointue éteinte*, il peut y avoir une *ronde allumée* ou une *ronde éteinte*), illustrant ainsi un comportement en transition vers la pensée formelle. Le stade 3 est attribué aux sujets qui, en plus de réussir les deux inférences indéterminées, réussissent l'item de vérification (c'est-à-dire l'identification du cas qui contredirait la règle), manifestant un niveau opératoire formel de la pensée.

Validation des stades

La théorie opératoire est une théorie du développement d'après laquelle on peut distinguer des stades qualitativement différents dans l'évolution intellectuelle des sujets; ce qui nous importe ici, c'est de pouvoir bien distinguer entre les sujets non formels et les sujets formels; il importe donc de vérifier que les stades qui seront attribués correspondent à des paliers génétiques différents, c'est-à-dire que l'âge moyen des sujets de chaque stade diffère de manière significative. Nous avons donc procédé à une étude parallèle de validation des stades mesurés par nos épreuves. Pour ce faire, il a fallu d'abord considérer le niveau opératoire des items de chaque épreuve afin de déterminer si leur réussite exigeait des comportements de nature pré-opératoire, opératoire concrète, opératoire intermédiaire ou opératoire formelle; chacun de ces stades était subdivisé en sous-stades provisoires, en tenant compte à la fois des réponses fournies et des justifications. Pour chacun des sujets, un tel stade provisoire a ensuite été attribué selon le niveau opératoire de réussite des items de chaque épreuve. Les stades provisoires ainsi obtenus ont été soumis à une analyse statistique permettant d'en vérifier la validité. Le test statistique utilisé est le test Kolmogorov-Smirnov unidirectionnel

(Siegel, 1956), permettant de vérifier si la distribution des sujets se situant à chaque stade du développement diffère de façon significative quant à l'âge. Étant donné que la majorité des chercheurs, à la suite d'Inhelder et Piaget (1955), situent le début de l'accession de la pensée formelle aux alentours de douze ans, nous avons utilisé pour valider les stades obtenus à nos quatre épreuves un échantillon de sujets de treize à dix-sept ans, répartis par groupes de 40 sujets à chaque niveau d'âge (Allaire, Demers et Gervais, 1988)¹. Le tableau V présente les stades de développement qu'il a été possible d'observer dans cet échantillon, respectivement pour les épreuves du groupe I.N.R.C. de l'équilibre de la balance, de la quantification des probabilités, pour l'épreuve de la structure combinatoire des permutations de jetons et pour celle de la logique propositionnelle d'implication; le tableau précise également les résultats des tests Kolmogorov-Smirnov.

Les résultats ont permis de distinguer trois stades génétiquement différents pour chacune des quatre épreuves ($p < 0,05$). Les âges moyens des sujets situés à chacun des stades identifiés sont assez constants d'une

¹ALLAIRE L., DEMERS M., GERVAIS C. (1988). *Étude de validation*
Document inédit.

épreuve à l'autre: autour de 14:00 ans pour le stade 1, sauf à l'épreuve d'implication, vers 15:00 ans pour le stade 2 et près de 16:00 ans pour le stade 3; mais les variations dans le pourcentage des sujets à chaque stade,

Tableau V

Fréquences observées à chaque stade des épreuves: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication, âge moyen et valeurs des tests Kolmogorov-Smirnov calculés entre les distributions d'âge de chaque stade (N=240) (étude de validation Allaire, Demers et Gervais, 1988)¹

Épreuve	stade	fréquences	%	âge moyen (années:mois)	chi-deux
Équilibre de la balance	1	45	18,75	14:00	24,0**
	2	127	52,92	15:02	
	3	68	28,33	16:04	
Quantification des probabilités	1	84	35,00	14:06	12,9**
	2	79	32,92	15:05	
	3	77	32,08	15:11	
Permutations de jetons	1	17	7,08	14:00	8,7**
	2	120	50,00	15:01	
	3	103	42,92	15:08	
Implication	1	99	41,25	14:09	13,1**
	2	78	32,50	15:04	
	3	63	26,25	16:04	

* p=0,05 ** p<0,05

¹ALLAIRE, L., DEMERS, M., GERVAIS, C. (1988). *Étude de validation* Document inédit.

d'une épreuve à l'autre, indiquerait toutefois que la construction des différentes structures de la pensée formelle ne se ferait pas de manière synchrone. La répartition des sujets selon les trois stades est relativement équilibrée pour chacune des épreuves, sauf en ce qui concerne l'épreuve des permutations de jetons: pour cette épreuve plus facile, seulement 7,08% des sujets sont au stade 1. Il est intéressant de noter que dans cet échantillon, l'âge d'accession au stade 3 n'est atteint pour aucune des épreuves, c'est-à-dire qu'on observe moins de 50% des sujets à ce stade.

Comparaisons avec les données antérieures

Il est pertinent de comparer aux résultats cités dans la littérature les proportions observées ici; rappelons toutefois que selon un relevé des recherches dans lesquelles on avait utilisé des épreuves d'administration individuelle, les pourcentages de sujets trouvés formels variaient de 15 à 78% (Chiapetta, 1976). Étant donné que la forme des résultats et les critères d'attribution des stades utilisés peuvent varier passablement d'une étude à l'autre, il est plus intéressant de comparer nos résultats à ceux d'une recherche réalisée plus près de nous, utilisant deux des mêmes épreuves, avec des critères d'attribution des stades semblables et

comprenant des sujets de dix à seize ans (Allaire-Dagenais, 1977). Les épreuves communes utilisées sont l'équilibre de la balance et les permutations de jetons. Le tableau VI compare la proportion de sujets de trois groupes d'âge trouvée à chaque stade à l'épreuve de l'équilibre de la balance; le tableau VII fournit les mêmes données pour l'épreuve des permutations de jetons.

Tableau VI

Pourcentages de sujets observés à chaque stade: concret (1), intermédiaire (2) et formel (3) à l'épreuve équilibre de la balance (étude Allaire-Dagenais, 1977 et étude de validation Allaire, Demers et Gervais, 1988)¹

Age (ans:mois)	Étude Allaire-Dagenais (N=100)			Stades			Validation (N=240)		
	1	2	3	Age (ans:mois)	1	2	3		
12:06	42,5	42,5	15	13:11	35	55	10		
14:06	5	80	15	15:00	5	75	20		
16:04	0	35	65	17:01	3	47	50		

¹ALLAIRE, L., DEMERS, M., GERVAIS, C. (1988). *Étude de validation*. Document inédit.

Tableau VII
 Pourcentages de sujets observés à chaque stade: concret (1),
 intermédiaire (2) et formel (3) à l'épreuve permutations de jetons
 (étude Allaire-Dagenais, 1977 et étude de validation Allaire, Demers et
 Gervais, 1988)¹

Age (ans:mois)	Étude Allaire-Dagenais (N=100)			Stades		Validation (N=240)		
	1	2	3	Age (ans:mois)		1	2	3
12:06	42,5	50	7,5	13:11		15	50	35
14:06	5	65	30	15:00		5	50	45
16:04	0	35	65	17:01		3	42,5	54,5

¹ALLAIRE, L., DEMERS, M., GERVAIS, C. (1988). *Étude de validation*. Document inédit.

Les âges ne se recoupent pas parfaitement dans les deux études, mais sont quand même en partie comparables. La séquence est assez semblable, avec un léger décalage dans l'âge des sujets. Ainsi, l'âge d'accession au stade formel (soit l'âge où 50% des sujets atteignent ce stade) est de moins de 16:04 ans chez les sujets de l'étude Allaire-Dagenais, pour les deux épreuves, alors qu'il est d'environ 17:01 ans dans notre étude de validation. Toutefois, la progression observée dans les deux études demeure comparable.

1.2 Test de raisonnement scientifique

Afin d'être en mesure de déterminer si les élèves sont capables d'utiliser le raisonnement scientifique, il faut mesurer les composantes de ce raisonnement, en tenant compte des conclusions de Demers et Allaire (1987) définissant les habiletés scientifiques retrouvées à l'aide de l'analyse factorielle comme correspondant aux étapes mêmes du raisonnement scientifique. De plus, afin d'éviter que le test ne soit l'occasion que d'un rappel de connaissances de la part de certains sujets (en particulier les plus âgés), il faut qu'il présente des situations dénuées de contenu scientifique scolaire, c'est-à-dire ne faisant pas l'objet d'enseignement à l'école. Il doit s'agir de situations courantes auxquelles les différentes composantes du raisonnement scientifique peuvent s'appliquer. Enfin, étant donné que le test doit être administré collectivement en une période normale de cours, le format recherché est celui d'un test à choix multiples. Le test construit et validé par Demers et Allaire (1987), qui répond à ces critères, a été retenu.

Dans ce test, des items ont été élaborés pour illustrer chacun des aspects du raisonnement scientifique. Lors de sa construction, ce test a

d'abord été administré sous forme de questions «ouvertes», c'est-à-dire de questions à développement pour lesquelles le sujet doit élaborer sa propre réponse. Il a ainsi été possible de recueillir des réponses-types permettant de proposer ultérieurement, dans une forme collective, des «*leures*» attrayants pour la population visée. Dans leur discussion des résultats au test, Demers et Allaire (1987) privilégient la forme «ouverte» du test par rapport à la forme présentant des choix multiples, la première forme fournissant des renseignements additionnels sur les opérations mises en oeuvre à chaque étape. Malgré cela, les contraintes reliées au temps disponible pour administrer les épreuves nous ont amené à choisir la version à choix multiples, sauf pour l'habileté planification de l'expérimentation. Toutefois, les critères de correction retenus pour la forme «ouverte» par Demers et Allaire (1987), basés sur les définitions de Tuckman (1978) et de Klopfer (1971), ont été utilisés pour évaluer chacun des énoncés proposés, permettant une échelle de mesure plus étendue et la possibilité d'analyser les opérations sous-jacentes définies dans la grille de correction pour chacune de ces habiletés. Ces critères de correction définissent opérationnellement les habiletés de raisonnement scientifique. Certains des critères de la grille originale ont été abandonnés, tel le critère de *concision et précision des termes* de l'habileté à identifier un problème

qui n'est pas pertinent dans la forme à choix multiples. La figure 5 présente la grille de correction, inspirée de celle de Demers et Allaire (1987).

Rappelons que pour être applicable aux énoncés de réponses proposés dans la version à choix multiple du test, la grille de correction originale a été légèrement modifiée. Certains items n'offrent aucune réponse méritant le score zéro car il était à peu près impossible de formuler une réponse telle qu'elle soit à la fois totalement fausse mais vraisemblable et susceptible d'être choisie par les sujets. De la même façon, il a parfois été impossible de formuler une réponse rencontrant tous les critères de la grille, donc se méritant le score maximal, sans que cette réponse ne devienne trop évidente. Cette pondération différenciée des réponses permet de mieux nuancer la valeur des choix de réponses faits par les sujets en mesurant plus précisément la distance à l'erreur de chacun des choix proposés (Noizet et Caverni, 1978). La grille de correction appliquée aux divers énoncés proposés pour chacun des items du test se trouve à l'appendice B.

Figure 5

Grille de correction des items de chacune des habiletés mesurées par le test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)

Identification du problème			
identification du malaise			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
formulation générale		1 point	maximum: 3 points
Formulation de l'hypothèse			
identification de la variable indépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
identification de la variable dépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
relation entre les variables		1 point	maximum: 5 points
Planification de l'expérimentation			
énumération du matériel indispensable à l'expérience			
- au complet (75% et plus)		2 points	
- partiel (25 à 75%)	ou	1 point	
mode de mesure de la variable indépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
mode prévu de mesure de la variable dépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
mention des variables contrôles			
- complète		3 points	
- partielle	ou	2 points	
- faible	ou	1 point	
schématisation du déroulement de l'expérience			
- complète et logique		2 points	
- partielle	ou	1 point	maximum: 11 points
Énonciation de la conclusion générale			
identification de la variable indépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
identification de la variable dépendante			
- de façon explicite		2 points	
- de façon implicite	ou	1 point	
relation entre ces variables		1 point	
généralisation		1 point	maximum: 6 points
interpolation et extrapolation		1 point	maximum: 1 point

Contenu du test

La tâche du sujet dans ce test consiste à reconnaître, parmi les énoncés proposés, celui qui correspond le mieux aux caractéristiques de l'habileté de raisonnement scientifique mesurée. L'habileté de l'identification du problème comporte six items. Voici un exemple d'item mesurant cette habileté.

On a réparé une fenêtre à deux grands carreaux. Le premier carreau A est fait de plastique, le deuxième carreau B est fait de verre. Des plantes d'une même variété et de même âge ont été placées sur le rebord de la fenêtre. Après quelques semaines, les feuilles de la plante placée derrière le carreau A sont moins vertes que celles de la plante placée derrière le carreau B. Que devrait-on d'abord se demander ?

Le choix correct *« Pourquoi les feuilles de la plante placée derrière le carreau A sont-elles moins vertes ? »* identifie le malaise et formule le problème sous forme générale. Les leurres consistent en énoncés de problèmes trop spécifiques, exemples: *« Le carreau B préserve-t-il mieux la plante du froid ? »* et *« Pourquoi le carreau B laisse-t-il passer plus de lumière que le carreau A ? »* ou en négations du problème, exemples: *« Pourquoi avoir posé des carreaux différents ? »* et *« Pourquoi ne pas avoir placé en A une plante adaptée à ce carreau ? »*.

L'habileté de la formulation de l'hypothèse comporte cinq items. Voici un exemple d'item mesurant cette habileté.

Deux équipes de campeurs utilisent des bougies (chandelles) de même grosseur pour faire bouillir de l'eau. La première équipe a des bougies faites de cire d'abeille, l'autre équipe a des bougies faites de parafine. On se rend compte que dans des marmites semblables placées à une même distance de la flamme, une même quantité d'eau prend plus de temps à bouillir avec l'une des deux sortes de bougies. On se demande pourquoi dans un cas l'eau prend plus de temps à bouillir que dans l'autre. La cause à supposer d'abord serait:

Le choix correct *«Les bougies de cire et de parafine donnent une quantité différente de chaleur»* identifie les variables indépendante et dépendante, de même que la relation pouvant exister entre les deux. Les leurres consistent soit en énoncés de solutions extérieures aux données du problème, exemples: *«Une des deux sortes de bougies est enduite d'un produit qui l'empêche de dégoutter»* et *«Une des deux sortes de bougies est plus molle»*, soit en relations imprécises entre les variables, exemple: *«Une des deux sortes de bougies brûle plus vite»* ou soit en énoncés qui nient ces données, exemple: *«Les campeurs ont utilisé les bougies de façon différente»*.

L'habileté de la planification de l'expérimentation est la seule du test

qui comporte des questions «ouvertes». Le sujet doit rédiger sa réponse en proposant une expérimentation pour un problème déjà identifié; un modèle de réponse est présenté aux sujets. Cette habileté est mesurée par deux items. Voici un exemple de ces items.

Un marchand de tomates constate que son stock gardé dans la cave se conserve mieux qu'un autre gardé dans la boutique. Il avance l'idée suivante: à l'obscurité, les tomates se conservent mieux qu'à la lumière. Comment pourrait-on procéder pour vérifier cette idée ?

L'habileté de l'énonciation de la conclusion générale comporte six items. Voici un exemple d'item mesurant cette habileté.

	direction du vent		
	lundi	mardi	mercredi
à midi	nord-est	est	est
à minuit	ouest	ouest	calme

Dans le tableau ci-dessus, on a noté la direction du vent pendant un certain temps. En se basant sur ce tableau, quelle est la conclusion la plus générale que tu peux tirer?

Le choix correct «*La direction des vents est différente le jour et la nuit pour cette région*» identifie les variables indépendante et dépendante, fait état de la relation entre les deux et généralise cette relation. Les leurres consistent en énoncés qui ne tiennent pas compte de toutes les variables de l'expérience décrite, exemples: «*C'est une région où il vente beaucoup*», «*C'est plus calme la nuit que le jour dans cette région*» et «*Le vent d'est souffle plus fort que le vent d'ouest dans cette région*», ou qui dépassent les relations observées, exemple: «*Le vent d'ouest de cette région cause les nuits froides*»; dans certains énoncés, des leurres peuvent faire état de relations erronées entre les variables. Les aspects interpolation et extrapolation de la conclusion comportent quatre items. L'item suivant en est un exemple.

Voici des données concernant les dimensions des tiroirs de classeurs vendus par un marchand.

Profondeur des tiroirs (cm)	Nombre de dossiers par tiroir
30	20
45	30
60	40
75	50

Pour 25 dossiers, afin de ne pas perdre de place, il faudrait commander un classeur contenant des tiroirs de quelle profondeur ?

Le choix correct correspond à l'interprétation juste (38 cm) des valeurs présentées dans le tableau de données, les leurres consistant en interprétations erronées (29, 32, 35 ou 41 cm) des valeurs présentées dans ce tableau.

Le test et la grille de correction des items se trouvent à l'appendice B. Sous cette forme, le test a été validé auprès de 612 sujets de la première à la cinquième secondaire. La moyenne du test est de 68,88 (score maximum = 104), soit environ 66%, et l'écart-type est de 13,59. Soumis à une analyse d'items, le test révèle une bonne fidélité par un coefficient alpha de Cronbach de 0,76. Lors de la validation, les indices de difficulté variaient de 35% à 86% et les indices de discrimination de 0,13 à 0,50, ce qui est tout à fait acceptable (Tousignant, 1982) si on fait exception de certains items du sous-test formulation d'hypothèse. Demers et Allaire (1987) ont d'ailleurs discuté de la difficulté rencontrée à bien mesurer cette habileté. Une analyse factorielle appuie le choix fait par les auteurs du test des quatre habiletés globales correspondant aux étapes du raisonnement scientifique; en effet, les items du test se distribuent clairement selon les habiletés de raisonnement scientifique. La correction

du test à choix multiples à partir de la grille de critères élaborée pour la forme "ouverte" du test permet de mieux distinguer les habiletés de raisonnement scientifique que ne le ferait une correction dichotomique.

2. Sujets

Cette section présente d'abord les raisons qui ont conduit au choix des sujets de l'étude. Nous présentons ensuite les données relatives à la fréquentation des cours de sciences dans la population étudiée et les caractéristiques des sujets retenus en termes d'âge et de proportions observées selon le sexe, le niveau scolaire et la voie suivie en mathématiques.

L'une des variables de cette recherche étant la fréquentation des cours de sciences par les sujets, la figure 6 présente la situation qui prévalait au moment de l'expérimentation. En première secondaire, le cours d'écologie 114 est obligatoire. En deuxième secondaire, aucun cours de sciences n'est offert. En troisième secondaire, le cours biologie 314 est obligatoire. En quatrième secondaire, les élèves peuvent choisir aucun, un ou deux cours parmi les trois options offertes à ce niveau, soit les cours de

biologie 422, de chimie 442 ou 462 et de physique 422. En cinquième secondaire, les élèves ont la possibilité de choisir aucun, un, deux ou trois cours de sciences optionnels, soit parmi ceux déjà offerts en quatrième secondaire, soit parmi deux nouveaux cours propres à ce niveau (chimie 562 et physique 522), ces derniers exigeant la réussite du cours préalable en quatrième secondaire, soit chimie 442 ou 462 ou physique 422.

Figure 6
Cours de sciences offerts selon le niveau scolaire
(Commission scolaire des Moissons¹,
années scolaires 1983-1984 et 1984-1985)

Cours	Niveaux secondaires				
	1	2	3	4	5
obligatoires					
écologie 114	✓				
biologie 314			✓		
optionnels					
biologie 422				✓	✓
chimie 442/462				✓	✓
physique 422				✓	✓
chimie 562*					✓
physique 522*					✓

*Cours exigeant la réussite d'un cours préalable en quatrième secondaire

¹Nous tenons à remercier la direction et le personnel de la polyvalente de Beauharnois de la Commission scolaire des Moissons pour la qualité de leur collaboration.

Afin de vérifier si le niveau de maturation des sujets influençait les résultats, il a semblé intéressant de tenir compte de l'âge des sujets suivant les cours de sciences. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi deux groupes de sujets: un groupe en début et un groupe en fin de cinquième secondaire. Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas des mêmes sujets pris à deux moments différents de leur année scolaire mais bien de **deux groupes différents de sujets**, cette étude n'étant pas longitudinale. Toutefois, étant donné la réalité scolaire, le critère définissant la maturation des sujets, soit le fait pour ceux-ci d'être en début ou en fin de cinquième secondaire, mesure à la fois la maturation physiologique par des âges moyens différents mais également une plus longue expérience des cours de sciences chez les sujets à la fin de la cinquième secondaire, par une plus longue fréquentation de ceux-ci. Ce facteur maturation n'est donc pas aussi spécifique que nous l'aurions souhaité mais pourrait permettre de nuancer l'impact de l'un ou l'autre facteur sur les résultats au test de raisonnement scientifique.

Un critère important pour le choix des sujets a été leur âge. En effet, la théorie opératoire de Piaget étant une théorie du développement cognitif, il importe de respecter l'âge normal des sujets en cinquième

secondaire. Il existe en effet, à ce niveau scolaire, une assez grande étendue d'âges, s'expliquant par le fait que certains élèves corrigent des erreurs de parcours en restant plus longtemps au secondaire. Nous avons donc choisi les sujets les plus près des moyennes d'âges normales pour ce niveau, moyennes obtenues à partir des critères d'admission au secondaire.

Nous avons respecté, lors du choix des sujets, les proportions respectives de filles et de garçons observées dans ces groupes, le but n'étant pas de constituer des groupes parfaitement équilibrés à ce titre mais des groupes représentant la réalité de la population étudiée.

Les sujets proviennent d'une école secondaire polyvalente de milieu semi-urbain et de niveau économique moyen. Le tableau VIII présente les caractéristiques générales de l'échantillon retenu. Les sujets de cinquième secondaire se répartissent en deux groupes d'âges espacés de six mois, ayant en moyenne respectivement 16:07 et 17:01 ans. Cinquante-sept sujets ont été retenus en début de cinquième et soixante-sept sujets en fin de cinquième secondaire. Les filles forment environ 60% de chacun de ces deux groupes. Les sujets de début et de fin de cinquième secondaire se répartissent à peu près de la même façon entre les trois voies en

mathématiques: près de 20 % en voie allégée, un peu plus de 50 % en voie régulière et près de 30 % en voie enrichie. Nous prévoyons procéder à une étude préliminaire des données afin de vérifier l'impact sur les résultats de ces deux dernières caractéristiques, le sexe des sujets et la voie suivie en mathématiques.

Tableau VIII
Répartition des sujets selon le niveau scolaire, le sexe,
l'âge chronologique et la voie en mathématiques

	début secondaire 5 (n=57)	fin secondaire 5 (n=67)
Sexe		
garçons	26	32
filles	31	35
Age		
moyenne (ans:mois)	16:07	17:01
dispersion (mois)	3,4	3,3
Voie en mathématiques		
allégée	9	15
régulière	31	38
enrichie	17	14

Les caractéristiques individuelles des sujets de l'étude paraissent à l'appendice C. Le tableau IX présente la fréquentation des cours de sciences de ces sujets. La première partie du tableau précise les cours optionnels suivis, par les sujets de l'échantillon, en quatrième et cinquième

secondaire, la deuxième partie, le nombre de cours suivis et la troisième, le niveau de ces cours.

Tableau IX
Cours de sciences suivis par les sujets de cinquième secondaire:
cours de sciences suivis, nombre de cours et niveau de ces cours

	début secondaire 5 (n=57)	fin secondaire 5 (n=67)
Cours suivis		
en quatrième secondaire		
biologie 422	3	3
chimie 442/462	49	57
physique 422	38	45
en cinquième secondaire		
biologie 422	17	21
chimie 442/462	2	2
physique 422	4	9
chimie 562	31	28
physique 522	21	19
Nombre total de cours suivis		
0	2	7
1	11	6
2	12	12
3	10	22
4	10	12
5	12	8
Niveau des cours suivis		
quatrième secondaire seulement	25	36
quatrième et cinquième secondaire	32	31

Lorsqu'ils étaient en quatrième secondaire, les sujets ont suivi en majorité à la fois le cours de chimie 442 ou 462 et celui de physique 422,

le cours de biologie 422 étant très peu choisi à ce niveau. Ce même cours est choisi plus fréquemment en cinquième secondaire, mais les cours de chimie et de physique spécifiques à ce niveau (chimie 562 et physique 522) sont les cours les plus suivis. Nous présumons que les sujets qui sont inscrits à ces cours forment un groupe distinct du point de vue de la fréquentation des cours de sciences, car d'une part ils ont réussi les cours préalables en quatrième secondaire et, d'autre part, ils sont suffisamment intéressés par les sciences pour suivre d'autres cours. Du point de vue du nombre de cours suivis, les sujets se répartissent assez également entre les catégories de un à cinq cours, les sujets n'ayant suivi aucun cours de sciences étant très peu nombreux.

Il semble pertinent de considérer, dans cette étude, la fréquentation des cours de sciences du point de vue du caractère particulier des cours offerts spécifiquement en cinquième secondaire. En effet, ces derniers supposent la réussite d'un cours préalable. Environ 50 % des sujets de cinquième secondaire sont inscrits à au moins un cours de ce niveau. Un examen plus détaillé des choix des sujets permet de constater que plus de 97% des sujets inscrits à au moins un cours de niveau cinquième secondaire ont suivi au total trois cours de sciences ou plus alors que plus

de 80 % des sujets ne suivant aucun de ces cours spécifiques au niveau cinq n'ont suivi au total que deux cours de sciences ou moins, ce qui montre la correspondance entre le niveau de cours suivis et le nombre de ces cours. Pour cette raison, le critère niveau des cours a été retenu, tel qu'indiqué à la fin du tableau IX, pour définir la fréquentation des cours de sciences; on la considérera donc comme faible chez les sujets n'ayant suivi que des cours de quatrième secondaire et comme élevée chez ceux suivant aussi des cours de cinquième secondaire.

3. Déroulement de l'expérience

Cette dernière section présente l'ordre de passation des diverses épreuves et les conditions de l'expérience. Nous avons d'abord administré collectivement le test de raisonnement scientifique à 16 groupes-classes d'élèves lors de cours obligatoires (français ou mathématiques); toutes les classes de cinquième secondaire du secteur général de la polyvalente ont participé à cette première étape; les neuf classes de cinquième secondaire de l'année scolaire 1983-1984 ont été rencontrés en fin d'année scolaire, en mai; les sept classes de cinquième secondaire de l'année scolaire suivante ont été rencontrées en novembre 1984. La durée de passation de

ce test est d'environ une période de cours (50 minutes). Les 124 sujets retenus pour la suite de la recherche, selon les critères précédemment établis d'âge, de sexe et de fréquentation des cours de sciences, ont ensuite été rencontrés individuellement pour l'administration des quatre épreuves formelles, de même que les 160 sujets des autres niveaux scolaires formant l'échantillon de validation; les épreuves formelles ont été administrées en deux séances pour chaque sujet. L'administration de ces épreuves se fait de façon individuelle par un seul examinateur qui note les comportements et justifications du sujet. Lors de la première séance, l'expérimentateur administre les deux épreuves du groupe I.N.R.C., l'équilibre de la balance et la quantification des probabilités. Lors de l'autre séance, les deux autres épreuves sont administrées: les permutations de jetons et l'implication. L'ordre de présentation des deux épreuves à l'intérieur d'une même séance alterne systématiquement d'un sujet à l'autre, de même que l'ordre des séances. Deux expérimentateurs ont procédé à l'administration des épreuves individuelles, ceci afin de réduire la période totale d'expérimentation. L'écart maximal entre l'administration du test de raisonnement scientifique et la première séance d'épreuves formelles est de dix jours; entre les deux séances d'épreuves individuelles, l'écart peut varier de un à cinq jours.

Chapitre III

Analyse des résultats

Le présent chapitre décrit, dans un premier temps, les divers résultats observés chez les sujets de cette étude: les résultats aux épreuves formelles et les stades opératoires observés ainsi que les résultats au test de raisonnement scientifique. Nous présentons ensuite l'étude préliminaire des rapports entre les différentes variables de la recherche et les méthode d'analyse retenues suite à l'étude préliminaire. Celles-ci sont l'analyse multivariée de la variance, l'analyse univariée de la variance, l'analyse discriminante de même que l'analyse des corrélations canoniques. Ces méthodes permettent ensuite l'examen des relations identifiées entre les résultats au test de raisonnement scientifique et les variables de la recherche, soit le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et la maturation des sujets. Enfin, la dernière partie propose une interprétation des résultats en regard de l'hypothèse piagétienne retenue.

1. Analyse préliminaire des données

L'objectif de la présente section est de décrire les stades opératoires attribués aux sujets, les résultats observés au test de raisonnement scientifique et la répartition des sujets selon les variables de la recherche.

1.1 Stades opératoires observés

L'un des buts de la recherche étant de déterminer le rôle de la pensée opératoire formelle dans l'acquisition du raisonnement scientifique, il est évidemment nécessaire de bien distinguer les sujets formels des sujets non formels. Cette étape se fera d'abord par l'identification des stades opératoires retrouvés dans l'échantillon et par l'étude des différents profils observés chez les sujets. Une comparaison entre les données ainsi obtenues et certains résultats observés dans des recherches antérieures apportera éventuellement des éléments complémentaires de validation et permettra de définir un critère global servant à distinguer les sujets formels des sujets non formels à l'ensemble des épreuves opératoires.

Dans plusieurs études, la pensée formelle est mesurée à l'aide d'une échelle de scores continus, même si la théorie de Piaget est basée sur l'idée de stades successifs représentant des paliers génétiques bien distincts; nous avons préféré présenter les données de la recherche en stades car ceux-ci respectent mieux les présupposés de la théorie piagétienne. Rappelons qu'une étude de validation a été effectuée dans le cadre d'une recherche parallèle utilisant les épreuves de la présente recherche (Allaire,

Demers et Gervais,1988)¹. Elle avait pour but de vérifier à l'aide du test Kolmogorov-Smirnov unilatéral (Siegel, 1956) si la distribution des sujets se situant à chaque stade du développement à chacune des épreuves formelles différait de façon significative, quant à l'âge, de la distribution des sujets au stade contigu et si l'ordre des stades correspondait à l'ordre des âges; elle a permis de distinguer trois stades génétiquement différents ($p < 0,05$) pour chacune des quatre épreuves (voir tableau V à la page 80). La répartition des sujets de la présente étude selon les stades obtenus aux diverses épreuves est présentée au tableau X.

Rappelons brièvement ce qui caractérise chacun des trois stades pour les quatre épreuves utilisées. Le détail de la clé de correction se trouve à l'appendice A. Le stade 1, de niveau opératoire concret, caractérise les sujets qui appliquent des solutions partielles non systématiques ou des solutions de nature qualitative pour résoudre les problèmes; ils ne tiennent pas compte de toutes les données du problème. Le stade 2 caractérise les sujets qui découvrent, en cours d'entrevue, une méthode systématique pour résoudre les problèmes et qui utilisent des solutions quantitatives

¹ALLAIRE L., DEMERS M., GERVAIS C. (1988). *Étude de validation*
Document inédit.

dans le cas des problèmes simples; mais ces sujets ne sont pas capables de généraliser ce type de solution pour résoudre des problèmes plus complexes, démontrant un comportement en transition vers la pensée formelle. Le stade 3 caractérise les sujets qui appliquent des méthodes systématiques pour résoudre les problèmes et réussissent à généraliser ce type de solution aux problèmes les plus complexes, illustrant ainsi la nature opératoire formelle de leur raisonnement.

Tableau X

Pourcentages de sujets de début (n=57) et de fin (n=67) de cinquième secondaire observés à chacun des stades pour les quatre épreuves:
équilibre de la balance, quantification des probabilités,
permutations de jetons et implication

Épreuves	Stades		
	1	2	3
Équilibre de la balance			
début 5è	14	39	47
fin 5è	4	48	48
Quantification des probabilités			
début 5è	23	35	42
fin 5è	18	45	37
Permutations de jetons			
début 5è	5	39	56
fin 5è	3	42	55
Implication			
début 5è	28	33	39
fin 5è	34	30	36

Les données du tableau X révèlent d'une part qu'il y a relativement peu de sujets au stade 1, c'est-à-dire au stade opératoire concret, ce qui était prévisible étant donné l'âge des sujets de l'échantillon, et que près de 50% des sujets sont au stade 3, soit au stade opératoire formel; d'autre part, il n'y a pas beaucoup d'écart entre les résultats des sujets en début de cinquième secondaire et ceux des sujets en fin de cinquième secondaire, mais il existe des différences appréciables entre les résultats aux diverses épreuves. En effet, à deux des quatre épreuves, soit aux permutations de jetons et à l'équilibre de la balance, il y a peu de sujets au stade concret; toutefois, respectivement près de 20% et de 33% des sujets ont manifesté des comportements de nature opératoire concrète aux épreuves de quantification des probabilités et d'implication. Ces comportements, rappelons-le, correspondent toujours à des solutions partielles, car le sujet ne considère que l'une des variables impliquées dans le problème présenté, soit une seule sorte de jetons dans l'épreuve de la quantification des probabilités ou une seule possibilité dans l'épreuve d'implication.

Le stade 2, qui regroupe une partie importante des sujets à chacune des épreuves (entre 30 et 48%), correspond à une étape intermédiaire du

développement; les sujets classés au stade 2 utilisent à l'occasion certains schèmes de la pensée opératoire formelle, mais sans systématiser leur démarche. Enfin, entre 36 et 56% des sujets, selon les épreuves, ont atteint le stade opératoire formel, c'est-à-dire qu'ils utilisent de façon systématique des solutions de nature formelle. Alors que l'âge d'accession au stade formel, soit l'âge où 50% des sujets réussissent l'épreuve, est nettement dépassé pour les permutations de jetons (plus de 50% de réussite) et est presque atteint pour l'équilibre de la balance (un peu moins de 50%), il semble encore loin pour les épreuves de quantification des probabilités et d'implication (moins de 40% de réussite). L'utilisation des schèmes formels varie donc selon les domaines. Ces résultats suggèrent que l'acquisition des structures formelles se ferait dans l'ordre suivant: la structure combinatoire, le groupe I.N.R.C. et, enfin, la logique propositionnelle; ceci confirme les résultats des études longitudinales réalisées par Neimark (1975) et Allaire-Dagenais (1983), mais infirme ceux de l'étude de Flexer (1980) selon laquelle le taux de réussite à l'épreuve de logique propositionnelle est supérieur à celui de l'épreuve du groupe I.N.R.C. Les résultats de Flexer (1980) ont toutefois été obtenus avec des sujets de onze à treize ans, c'est-à-dire situés au tout début de la période de construction de la pensée formelle. Les épreuves utilisées dans les

différentes recherches pouvant se révéler de niveaux de difficulté différents, l'ensemble des résultats ne permet pas de considérer comme réglée la question de l'ordre de construction des structures formelles.

La vérification des écarts entre la réussite aux diverses épreuves pour un même sujet, à partir des données individuelles de l'appendice C, a permis d'identifier quatre types de profils distincts de performance chez les sujets; ces profils sont présentés à la figure 7.

Figure 7
Profils de performance observés aux quatre épreuves formelles

Profil	Stades observés aux épreuves	N	% de l'échantillon
1	2 2 2 2	2	17%
	3 3 3 3	19	
2	1 1 1 2	3	58%
	1 1 2 2	10	
	1 2 2 2	11	
	2 2 2 3	10	
	2 2 3 3	21	
	2 3 3 3	17	
3	1 1 2 3	6	23%
	1 2 2 3	12	
	1 2 3 3	10	
4	1 1 1 3	1	2%
	1 1 3 3	1	
	1 3 3 3	1	

Un premier type de profil regroupe les sujets qui obtiennent le même stade opératoire, le stade 2 ou le stade 3, à toutes les épreuves; ce profil regroupe 17% des sujets, la majorité d'entre eux étant formels, c'est-à-dire situés au stade 3; aucun sujet n'a été classé au stade concret (1) à toutes les épreuves. Dans le deuxième type de profil observé, l'écart entre la réussite aux différentes épreuves ne dépasse pas un stade; 58% des sujets obtiennent ce profil. Le troisième type de profil comprend 23% des sujets et se définit par un étalement sur les trois stades des résultats aux quatre épreuves; ce profil semble tout à fait caractéristique de sujets en transition. Enfin, le quatrième profil, qui ne regroupe que 2% des sujets, comporte des écarts de deux stades, c'est-à-dire que les mêmes sujets ont manifesté des comportements concrets à certaines épreuves alors qu'ils ont apporté des solutions formelles à d'autres épreuves. Les trois premiers profils regroupent 98% des sujets; ces profils révèlent soit des sujets formels (19 des 21 sujets du profil 1), soit des sujets en transition (les profils 2 et 3). Au total, 75% des sujets ont des profils dont la cohérence est tout à fait compatible avec les présupposés de la théorie piagétienne puisque leur comportement chevauche deux stades contigus de développement (les profils 1 et 2).

Étant donné, d'une part, la faible proportion de sujets retrouvés au stade concret à deux des quatre épreuves et, d'autre part, l'intérêt à comparer les résultats au test de raisonnement scientifique des sujets formels à ceux des sujets non formels, on regroupera pour chaque épreuve les sujets des stades 1 (opérateur concret) et 2 (en transition) et ce groupe de sujets sera comparé au groupe formel lors de la vérification des hypothèses. De cette manière, les sujets se répartissent en deux groupes assez bien équilibrés à chacune des épreuves. Cependant, compte tenu du style d'analyse prévu dans cette étude, il nous faut aussi classer les sujets en deux catégories du point de vue de l'ensemble de leurs résultats aux épreuves de pensée formelle. Afin de définir un critère global de pensée formelle, c'est-à-dire afin de déterminer le nombre de réussites à l'ensemble des épreuves qui sera exigé pour classer un sujet comme formel, il faut d'abord procéder à la répartition des sujets selon qu'ils ont manifesté un comportement formel (3), d'une part, ou des comportements concrets (1) et intermédiaires (2), d'autre part, à chacune des épreuves. Cette répartition est présentée au tableau XI.

De façon générale, un peu plus du tiers des sujets peuvent être

classés de manière claire; en premier lieu, une proportion de 21% de l'ensemble (26 des 124 sujets) est considérée comme non formelle, ces sujets manifestant des comportements de niveau intermédiaire ou, à l'occasion, de niveau formel mais sans atteindre jamais le stade 3.

Tableau XI
Répartition, en pourcentages, des sujets formels
(4 épreuves réussies au stade formel), concrets
(aucune épreuve au stade formel) et intermédiaires
(1, 2 ou 3 épreuves au stade formel)

	Concrets		Intermédiaires			Formels
	nombre d'épreuve(s) au stade 3					
	0	1	2	3	4	
début 5ème secondaire (n=57)	21,0 n=12	22,8 n=13	24,6 n=14	14,0 n=8	17,6 n=10	
fin 5ème secondaire (n=67)	20,9 n=14	23,9 n=16	26,9 n=18	14,9 n=10	13,4 n=9	
total (n=124)	21,0 n=26	23,4 n=29	25,8 n=32	14,5 n=18	15,3 n=19	
	En transition			Formels		
	44,3% (n=55)			55,7% (n=69)		

Par ailleurs, rappelons qu'aucun sujet n'a obtenu que le stade concret (1) à l'ensemble des épreuves; ce groupe de sujets peut donc être considéré comme étant en transition vers le stade formel. De plus, la proportion de l'ensemble des sujets ayant atteint le stade formel aux

quatre épreuves, c'est-à-dire ayant utilisé systématiquement des solutions de nature formelle, est de 15% (19 des 124 sujets). Les autres sujets, soit la majorité, chevauchent donc les trois niveaux définis: ils réussissent certaines épreuves en employant systématiquement des solutions de nature formelle; pour d'autres épreuves, ils n'utilisent de telles solutions qu'à l'occasion; il arrive enfin qu'ils n'emploient, dans l'une ou l'autre épreuve, que des solutions de type opératoire concret. Ces sujets sont plus ou moins avancés dans la construction de la pensée formelle et illustrent que celle-ci ne présente pas un développement synchrone d'une structure à l'autre. Enfin, on aura remarqué que les sujets de début de cinquième secondaire ne diffèrent des sujets situés en fin de cinquième secondaire à aucune des épreuves.

La définition d'un critère qui servira à distinguer les sujets formels de ceux qui n'ont pas encore atteint ce stade doit tenir compte à la fois des résultats observés dans cette étude et de l'absence de consensus chez les chercheurs dans la définition d'un tel critère. D'une part, en effet, la figure 7 et le tableau XI révèlent des décalages chez les sujets dans l'accession aux diverses épreuves de la pensée formelle. D'autre part, les épreuves utilisées, les critères définissant l'accès à la pensée formelle et

les âges d'accession observés varient d'une étude à l'autre (Chiappetta, 1976). Comme notre objectif est de comparer les résultats au test de raisonnement scientifique des sujets formels à ceux des sujets non formels, il nous faut choisir un critère qui respecte les exigences d'attribution des stades mais qui en même temps tienne compte de l'existence de décalages chez les sujets en transition. Ce critère sera l'atteinte du stade 3, c'est-à-dire du niveau opératoire formel, à au moins deux des quatre épreuves, ce qui permettra de distinguer les sujets chez qui la construction de la pensée formelle est chose faite dans certains domaines (au moins deux) des sujets encore en transition vers celle-ci et qui n'ont pas dépassé, sauf dans une épreuve sur quatre, le stade 2 de transition. Un tel critère a déjà été retenu dans d'autres études (St-Cyr, 1988). Les sujets de notre étude se répartissent donc, selon ce critère, en 44,3% de sujets en transition et 55,7% de sujets formels; ces données paraissent au bas du tableau XI. Les sujets classés comme formels représentent donc plus de la moitié des sujets.

1.2 Résultats au test de raisonnement scientifique

Les résultats observés au test de raisonnement scientifique

permettent d'apprécier le niveau d'acquisition du raisonnement scientifique chez les sujets de cinquième secondaire. Rappelons que nous avons appliqué la grille de correction de la version ouverte du test retenu (Demers et Allaire, 1987) aux réponses de la version à choix multiples; ceci explique les résultats assez élevés observés, le score minimal étant toujours plus grand que zéro, soit 22% de réussite au sous-test d'identification du problème, 29% au sous-test de formulation d'hypothèse et 15% au sous-test de l'énonciation de la conclusion, car il était pratiquement impossible de proposer, dans cette version du test, des leurres plausibles qui ne répondaient pas au moins en partie aux critères de correction; cependant, les résultats au sous-test de planification de l'expérimentation sont nettement plus faibles que ceux observés aux autres sous-tests, ce qui s'explique en partie par le fait que les items mesurant cette étape sont présentés sous forme de questions ouvertes nécessitant que le sujet formule lui-même sa réponse. Les scores exprimés sous forme de pourcentages de réussite sont présentés au tableau XII.

Les données du tableau XII montrent un taux d'acquisition des sous-tests du raisonnement scientifique assez élevé, variant de 71 à 83%, exception faite de l'étape expérimentation (48%) dont la mesure a été faite

différemment. L'examen des scores minimaux et maximaux observés à chacun des sous-tests (tableau XII) révèle que les scores sont plus étendus à deux des sous-tests, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation, dont les scores transformés en pourcentages varient respectivement de 28 à 100% et de 0 à 77%. Par contre, les scores ne varient que de 50 à 100% pour les sous-tests de la formulation d'hypothèse et de l'énonciation de la conclusion.

Tableau XII
Pourcentages de réussite observés aux sous-tests de
raisonnement scientifique

	étendue des scores	Niveau scolaire secondaire					
		début 5ème (n=57)		fin 5ème (n=67)		tous les sujets (n=124)	
		moy	éc-type	moy	éc-type	moy	éc-type
Identification du problème	28 à 100%	71,0	26,1	76,0	23,5	73,7	24,7
Formulation d'hypothèse	50 à 100%	78,0	17,3	76,1	21,5	76,9	19,6
Planification de l'expérimentation	0 à 77%	46,8	17,7	49,4	16,0	48,2	16,8
Énonciation de la conclusion	50 à 100%	83,6	18,2	82,2	11,0	83,5	12,7
Test total		66,7	19,2	71,0	16,3	67,8	18,3

Une comparaison entre ces données, celles présentées par Demers et Allaire (1987) avec la forme ouverte du test et celles observées par Padilla, Okey et Dillashaw (1983) à l'aide d'un test de connaissances générales basé sur des habiletés scientifiques, chez des sujets de cinquième secondaire, est présentée au tableau XIII.

Tableau XIII

Pourcentages de réussite observés aux sous-tests de raisonnement scientifique dans trois études, avec des sujets de cinquième secondaire

	présente étude (n=124)	Demers et Allaire (1987) (n=226)	Padilla & al (1983) (n=491)
Identification du problème	74	59	-
Formulation d'hypothèse	77	58	73
Planification de l'expérimentation	48	65	69
Énonciation de la conclusion	84	80	68

Les données présentées par Demers et Allaire (1987) indiquent qu'effectivement, les scores sont plus faibles avec la version «ouverte» du test (variant de 58 à 80%). Les items «ouverts» du sous-test de la

planification de l'expérimentation, communs aux deux versions du test, sont par contre beaucoup mieux réussis dans l'étude de Demers et Allaire (1987), où le score moyen est de 65% versus 48% dans la présente étude. Toutefois, si on se réfère aux données observées aux autres niveaux scolaires dans la recherche Demers et Allaire (1987) (tableau II à la page 21) au sous-test de la planification de l'expérimentation, on remarque un écart important entre les scores observés en deuxième, troisième et quatrième secondaire et les scores observés en cinquième secondaire: ils varient en effet de 28 à 65%. Le résultat que nous avons observé (48%) à ce même sous-test s'inscrit donc en continuité avec ceux des sujets des niveaux scolaires inférieurs à la cinquième secondaire de l'étude. Le test de Padilla, Okey et Dillashaw (1983) est aussi un test à choix multiples et les données qu'il a permis de recueillir sont comparables aux nôtres; ainsi, au sous-test hypothèse, les résultats sont de 73% au test de Padilla et al et de 77% dans notre étude. Cependant, les résultats au sous-test planification de l'expérience, qu'ils ont mesuré à l'aide d'items à choix multiples, sont supérieurs dans l'étude de Padilla et al., comme on pouvait s'y attendre. Par contre, les résultats sont nettement différents au sous-test conclusion, soit un score moyen de 84% dans notre étude et de 68% dans l'étude de Padilla et al. Mais ces derniers définissent cette

habileté comme étant l'interprétation de graphiques et de données, alors que notre définition est basée de manière plus évidente sur la généralisation et sur l'inférence (voir chapitre 1). Dans l'ensemble, nos données paraissent donc généralement comparables à celles déjà observées dans d'autres études mesurant les habiletés scientifiques, quoique ces études soient peu nombreuses.

1.3 Étude préliminaire des rapports entre les variables

Il importe d'abord de vérifier si les variables de la recherche, considérées une à une, sont en rapport avec les résultats observés au test de raisonnement scientifique. Il faudra ensuite étudier la répartition des sujets selon ces diverses variables afin de s'assurer de leur indépendance; par exemple, s'il s'avérait que tous les sujets formels ont une fréquentation élevée des cours de sciences, il serait impossible de vérifier l'impact de l'une ou l'autre de ces deux variables sur les résultats au test de raisonnement scientifique. Enfin, étant donné que plusieurs variables peuvent interagir pour influencer les résultats au test de raisonnement scientifique, il est important d'analyser ces résultats par des méthodes qui tiennent compte de la complexité des variables en jeu.

Une première analyse permet de comparer les résultats obtenus aux sous-tests de raisonnement scientifique par les deux groupes de sujets formés par chacune des variables indépendantes: le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences, la maturation et le sexe, à l'aide d'une classification simple (procédure *breakdown* du logiciel SPSS) et de tests *t*, et par les trois groupes formés par la variable indépendante «voie en mathématiques» à l'aide d'une analyse de la variance *one way*. Le tableau XIV présente les résultats observés aux sous-tests de raisonnement scientifique chez les groupes formés par les niveaux des différentes variables indépendantes. On observe que les résultats à certains sous-tests du test de raisonnement scientifique diffèrent, selon le niveau, pour certaines des variables de la recherche.

Pour l'ensemble de l'échantillon, on peut observer une relation entre les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique et plusieurs des variables de la recherche. Ainsi, les sujets formels obtiennent de meilleurs scores (tests *t* significatifs) que les sujets en transition aux sous-tests de l'identification du problème (moyennes de 14,68 et 11,70), de la planification de l'expérimentation (moyennes de 11,55 et 8,82) et de

l'énonciation de la conclusion (moyennes de 34,56 et 31,09). Les sujets ayant une fréquentation élevée des cours de sciences obtiennent, quant à eux, de meilleurs scores (tests t significatifs) aux quatre sous-tests. Les résultats aux quatre sous-tests sont également en relation (tests F significatifs) avec la voie suivie en mathématiques. On observe donc que le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et la voie suivie en mathématiques, chacune de ces variables étant prise individuellement, sont en relation avec les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique. Ces observations vont dans le sens des hypothèses de la recherche et démontrent la pertinence de certaines des variables retenues pour expliquer les résultats observés au test de raisonnement scientifique. Toutefois, dans l'ensemble, la maturation, c'est-à-dire l'écart entre l'âge des sujets au début et à la fin de la cinquième secondaire ainsi que le sexe des sujets ne semblent pas être en relation avec les résultats observés aux sous-tests. Par contre, la voie suivie en mathématiques n'avait pas été prévue comme variable de la recherche; il paraît donc important de vérifier les rapports entre cette dernière et les variables retenues.

Tableau XIV

Mise en relation des résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique et des niveaux des variables indépendantes : stade opératoire, fréquentation des cours de sciences, maturation, sexe et voie en mathématiques

Variables	Problème		Hypothèse		Expérimentation		Conclusion	
	Moy	éc-t	Moy	éc-t	Moy	éc-t	Moy	éc-t
Stade								
transition (n=55)	11,70	3,97	18,19	3,01	8,82	4,24	31,09	5,9
formel (n=69)	14,68	4,00	19,37	3,50	11,55	3,03	34,56	3,95
valeur t	-3,79		-1,78		-3,90		-3,64	
degré de liberté	120		118		122		121	
probabilité	0,000		0,077		0,000		0,000	
Fréquentation des cours de sciences								
faible (n=63)	12,06	4,40	17,89	3,28	9,21	4,22	31,70	5,42
élevée (n=61)	14,94	3,52	19,98	3,09	11,75	2,76	34,71	4,30
valeur t	-3,72		-3,34		-3,66		-3,16	
degré de liberté	120		118		122		121	
probabilité	0,000		0,001		0,000		0,002	
Maturation								
début sec5 (n=57)	12,77	4,45	18,98	3,29	10,04	3,86	33,64	5,79
fin sec5 (n=67)	14,15	3,93	18,81	3,44	10,82	3,73	32,66	4,39
valeur t	-1,69		0,26		-1,07		0,99	
degré de liberté	120		118		122		121	
probabilité	0,093		0,793		0,288		0,325	
Sexe								
masculin (n=58)	13,13	4,54	19,32	3,32	10,71	3,49	33,83	4,52
féminin (n=66)	13,75	3,98	18,54	3,36	10,22	4,05	32,58	5,52
valeur t	-0,75		1,18		0,67		1,25	
degré de liberté	120		118		122		121	
probabilité	0,457		0,242		0,507		0,213	
Voie en mathématiques								
allégée (n=24)	11,96	4,18	17,00	4,53	8,42	4,43	29,25	5,94
régulière (n=69)	13,12	4,30	19,00	3,27	10,97	3,33	33,54	4,52
enrichie (n=31)	15,45	2,98	20,35	3,25	11,97	3,81	36,47	3,0
test F	5,695		4,653		9,977		13,837	
degré de liberté								
entre les groupes	2		2		2		2	
intérieur	120		118		122		121	
probabilité	0,0045		0,0117		0,0001		0,0000	

Il importe cependant de vérifier si certaines de ces variables sont en relation entre elles, c'est-à-dire si elles ne mesurent pas, au moins en partie, la même chose. Il nous faut donc étudier la répartition des sujets selon les variables suivantes: le stade opératoire, la fréquentation, faible ou élevée, des cours de sciences, la voie suivie en mathématiques, la maturation, mesurée par l'écart d'âge entre le début et la fin de la cinquième secondaire et le sexe. Il sera ainsi possible d'identifier les associations éventuelles entre certaines des variables, d'éliminer les variables créant de la confusion et d'identifier les variables pertinentes afin de les inclure dans le plan factoriel qui sera finalement objet d'analyse. Les tableaux croisés rassemblés au tableau XV illustrent la répartition des sujets entre les variables ainsi que les associations entre ces dernières.

Le tableau XV révèle des associations, mesurées à l'aide d'un khi deux, entre certaines variables. Il y a d'abord un lien important entre la fréquentation des cours de sciences et la voie suivie en mathématiques ($p \leq 0,0001$). En effet, tous les sujets de la voie allégée en mathématiques ont une faible fréquentation des cours de sciences, alors que plus de 90% des sujets de la voie enrichie (29 des 31 sujets) ont une fréquentation élevée de ces cours. Seuls les sujets de la voie régulière se répartissent à peu près

également entre les deux catégories. Ce lien «mathématiques-sciences» ne constitue pas une surprise, la réalité scolaire incitant les sujets forts en mathématiques à choisir des cours de sciences, les liens entre les deux disciplines semblant évidents à tous.

Tableau XV
Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets
selon les variables indépendantes et les associations entre ces dernières

	Stade		Fréquentation		Voie en			Maturation	
	en tran- sition	formel	faible	élevée	allégée	réguli- ère	enri- chie	début	fin
Fréquentation									
cours de sciences									
faible	39	24							
élevée	16	45							
khi deux	14,57								
	p<0,0001								
Mathématiques									
allégée	18	6	24	0					
régulière	32	37	37	32					
enrichie	5	26	2	29					
khi deux	19,25		47,86						
	p<0,0001		p<0,0001						
Maturation									
début 5è	25	32	27	30	9	31	17		
fin 5è	30	37	36	31	15	38	14		
khi deux	0		0,28		1,71				
	ns		ns		ns				
Sexe									
garçons	17	41	25	33	8	33	17	26	32
filles	38	28	38	28	16	36	14	31	35
khi deux	8,88		2,04		2,58			0	
	p<0,01		ns		ns			ns	

ns=non significatif, p>0,05

Il y a également un lien entre le stade opératoire des sujets et la voie suivie en mathématiques ($p \leq 0,0001$), la majorité des sujets de la voie allégée (75%, soit 18 des 24) étant en transition vers la pensée formelle alors que ceux de la voie enrichie sont en très grande majorité formels (84%, soit 26 des 31). Ici également, les sujets de la voie régulière se répartissent à peu près également entre les deux stades.

Il existe aussi un lien entre le stade opératoire des sujets et la fréquentation des cours de sciences ($p \leq 0,0001$); 29% des sujets en transition (16 sur 55) ont une fréquentation élevée de ces cours comparativement à 65% des sujets formels (45 sur 69).

Enfin, les données révèlent un lien significatif ($p \leq 0,01$) entre le stade opératoire et le sexe des sujets, les garçons étant en majorité formels (71%, soit 41 sur 58) contrairement aux filles (28 des 66 filles sont formelles, soit 42%). Ce dernier résultat étonne car il est en contradiction avec les données habituellement observées chez les sujets de cet âge alors que cette différence entre filles et garçons n'apparaît pas (Tisher, 1971; Saarni, 1973; Allaire-Dagenais, 1983). Une vérification des données a permis de déterminer que ces deux groupes de sujets ont des âges moyens tout à fait

comparables; de même, les âges moyens des seuls sujets en transition (17 garçons et 38 filles) sont approximativement les mêmes, soit 17:00 ans pour les garçons, avec un écart-type de 4,5 mois et 16:10 ans pour les filles, avec un écart-type de 4,9 mois. Enfin, mentionnons qu'il n'y a pas de relations significatives entre la maturation des sujets (début ou fin cinquième secondaire) et les autres variables; le sexe n'est en lien qu'avec le stade opératoire ($p \leq 0,01$).

L'étude des relations éventuelles entre le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le raisonnement scientifique se trouve donc compliquée par les associations significatives trouvées d'une part entre la fréquentation des cours de sciences et la voie suivie en mathématiques et, d'autre part, entre le stade opératoire et le sexe des sujets. Il est de plus pratiquement impossible d'évaluer les impacts propres de la voie suivie en mathématiques et du sexe sur les résultats observés. Si nous tentons de fractionner l'ensemble des 124 sujets selon ces cinq variables, nous obtiendrons inévitablement des fréquences très inégales à cause des associations trouvées, et même des cases vides. En particulier, la variable voie suivie en mathématiques crée de la confusion par des liens très forts avec plusieurs autres variables de la recherche.

Ainsi, les conclusions pourraient être incomplètes, voire erronées si le design expérimental ne contrôle pas les caractéristiques des sujets qui interagissent avec la situation expérimentale. Ceci nous amène à retenir, pour l'analyse des résultats, un sous-groupe plus homogène de notre échantillon, soit les sujets de la voie régulière en mathématiques; ces 69 sujets se répartissent en effet de façon assez équilibrée selon les autres variables, comme le démontre le tableau XVI.

Tableau XVI

Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets de la voie régulière en mathématiques selon les variables indépendantes et les associations entre ces dernières

	Stade		Fréquentation des cours de sciences		Maturation (sec. 5)	
	en transition	formel	faible	élevée	début	fin
Fréquentation des cours de sciences						
faible	19	18				
élevée	13	19				
khi deux	1,24					
	ns					
Maturation						
début 5è	15	16	16	15		
fin 5è	17	21	21	17		
khi deux	0		0			
	ns		ns			
Sexe						
garçons	10	23	16	17	13	20
filles	22	14	21	15	18	18
khi deux	5,39		0,33		0,41	
	p<0,05		ns		ns	

ns=non significatif, p>0,05

La répartition des sujets de la voie régulière en mathématiques, illustrée au tableau XVI, révèle que la plupart des variables ne sont pas associées; par exemple, un sujet formel peut avoir une fréquentation faible ou élevée des cours de sciences, qu'il soit au début ou à la fin de la cinquième secondaire. Par contre, il y a encore un lien entre le stade opératoire et le sexe des sujets ($p \leq 0,05$) comme c'était le cas pour l'ensemble de l'échantillon (tableau XV). Afin de comprendre l'origine de cette différence entre filles et garçons, nous avons comparé les résultats des sujets aux quatre épreuves formelles. La répartition des sujets, garçons et filles, selon le stade obtenu à chacune des épreuves, apparaît au tableau XVII.

Les résultats sont différents à une seule épreuve, celle des permutations de jetons: il y a une majorité de filles en transition à cette épreuve (21 filles sur 36), alors que c'est l'épreuve de loin la mieux réussie par les garçons (24 sujets formels sur 33). Pour cette épreuve, l'âge d'accession au niveau formel était de 15:08 ans dans l'échantillon de validation (tableau VII); or, les filles de la voie régulière en mathématiques

Tableau XVII
Fréquences observées de sujets formels et en transition aux épreuves:
équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations des
jetons et implication chez les filles et les garçons de la voie
 régulière en mathématiques

Stade		Sexe		khi deux	
		Garçons (n=33)	Filles (n=36)		
Équilibre de la balance	transition	15	24	2,35	ns
	formel	18	12		
Quantification des probabilités	transition	19	24	0,28	ns
	formel	14	12		
Permutations de jetons	transition	9	21	5,55	p<0,05
	formel	24	15		
Implication	transition	22	23	0	ns
	formel	11	13		

ont en moyenne 16:10 ans. Plusieurs études antérieures déjà mentionnées, dont celle de Allaire-Dagenais (1983) portant sur des échantillons importants, soit 285 sujets, ne révélaient aucune différence significative entre garçons et filles à cette épreuve, à quelque âge que ce soit. Cependant, ce qu'on observe ici, c'est un phénomène qu'on a pu observer dans d'autres recherches (Allaire-Dagenais, 1985): au lieu de démontrer une hausse

rapide de performance aux épreuves de faible niveau de difficulté, il arrive que les adolescents régressent temporairement en manifestant des comportements cognitifs inférieurs à leurs capacités réelles. Dans ce cas cependant, on devrait observer le phénomène autant chez les garçons que chez les filles. Mais ce comportement a de fait été surtout observé chez les filles. L'absence de différence entre filles et garçons à une épreuve beaucoup plus difficile, l'implication, accrédite cette hypothèse. Il faut aussi souligner un fait qui pourrait jeter quelque lumière, indirectement, sur cette différence de performance à une épreuve facile: un certain nombre de sujets (environ une vingtaine) ont refusé de se soumettre à l'expérimentation dans son ensemble; or, dans presque tous les cas, il s'agissait de filles.

Comme les données de l'épreuve des permutations de jetons sont incohérentes du point de vue des âges d'accession et se révèlent incompatibles autant avec les résultats observés aux autres épreuves qu'avec les données antérieures observées dans des contextes semblables, elles ne seront pas retenues. D'ailleurs, lors d'une étude visant à classifier certains objectifs de l'enseignement des sciences selon le modèle de Piaget, Shayer et al. (1981) ont également dû rejeter l'épreuve représentant la

structure combinatoire, les résultats d'une analyse factorielle révélant là aussi son incompatibilité avec les autres épreuves opératoires. Cependant, compte tenu du retrait de l'épreuve des permutations, le critère permettant de définir le caractère formel ou non formel de la performance d'ensemble d'un sujet à trois épreuves et non plus à quatre doit être redéfini ou à tout le moins reformulé de la manière suivante: pour être considéré comme formel, un sujet doit avoir atteint le stade 3, caractérisé par des solutions de type formel, à au moins deux épreuves sur trois. La redéfinition du critère s'accompagne donc d'un niveau d'exigence plus grand qui ne peut que mieux fonder les analyses et les interprétations que l'on fera des résultats obtenus par les sujets formels de même que par les sujets en transition au test de raisonnement scientifique. Le tableau XVIII donne la répartition des sujets selon les variables retenues lorsque le stade est défini à partir de trois épreuves seulement: l'équilibre de la balance, la quantification des probabilités et l'implication; par ailleurs, la pertinence de ce choix apparaît clairement à cause de l'indépendance entre les variables qui en résulte.

À la suite du rejet de l'épreuve des permutations de jetons et de la redéfinition du critère utilisé pour classer les sujets comme formels ou en

transition, on n'observe en effet plus d'association entre les variables de la recherche; comme le démontre le tableau XVIII, le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences, le sexe et le moment exact de la scolarité mesurent chacun une caractéristique bien spécifique et indépendante de chacune des autres.

Tableau XVIII

Tableaux croisés illustrant la répartition des sujets (n=69) de la voie régulière en mathématiques selon les variables indépendantes (sans l'épreuve des permutations de jetons)

	Stade		Fréquentation des cours de sciences		Maturation (sec. 5)	
	en transition	formel	faible	élevée	début	fin
Fréquentation des cours de sciences						
faible	26	11				
élevée	19	13				
khi deux	0,48					
	ns					
Maturation						
début 5è	21	10	16	15		
fin 5è	24	14	21	17		
khi deux	0,02		0			
	ns		ns			
Sexe						
garçons	20	13	16	17	13	20
filles	25	11	21	15	18	18
khi deux	0,27		0,33		0,41	
	ns		ns		ns	

p>0,05

L'étude préliminaire des données a donc permis d'identifier les variables pertinentes à partir de leur relation avec les résultats au test de raisonnement scientifique (tableau XIV) et à partir des associations observées entre elles (tableaux XV, XVI et XVII). À la suite de cette étude préliminaire, la variable mesurant la maturation, soit le fait d'avoir été soumis à la situation expérimentale au début ou à la fin de la cinquième secondaire, ne sera pas retenue dans les analyses étant donné qu'elle s'est révélée n'avoir aucun impact sur les résultats au test de raisonnement scientifique, contrairement au stade opératoire, à la fréquentation des cours de sciences et à la voie suivie en mathématiques. Ainsi, pour procéder à la vérification des hypothèses de la recherche ayant trait au stade opératoire et à la fréquentation des cours de sciences, nous allons retenir les 69 sujets de la voie régulière en mathématiques: les 33 garçons et les 36 filles. L'impossibilité de vérifier nos hypothèses chez les sujets des trois voies en mathématiques diminue l'importance des écarts entre les résultats au test de raisonnement scientifique des sujets qui restent, mais rendra les relations éventuelles entre les variables encore plus significatives parce que provenant d'un sous-groupe très homogène dans ses caractéristiques; il sera alors possible de relier les différences éventuelles observées au test de raisonnement scientifique aux variables

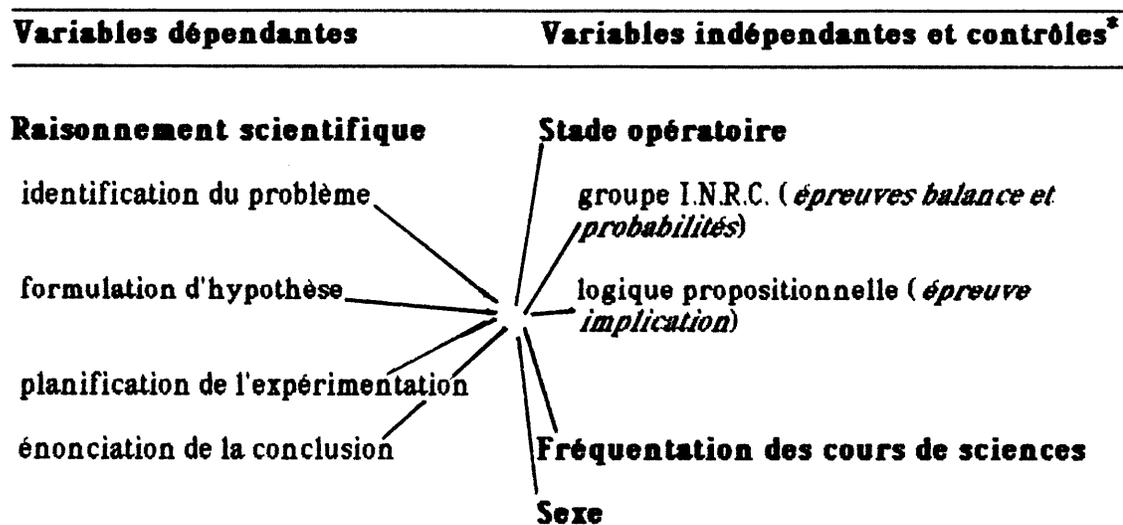
retenues, soit le stade opératoire des sujets, leur plus ou moins grande fréquentation des cours de sciences et leur sexe. Les données mises en évidence dans la revue de la littérature ne rendaient pas nécessaire une mise en rapport du sexe des sujets avec les résultats au test de raisonnement scientifique. Mais cette dernière variable s'est révélée importante dans l'étude préliminaire des données et elle sera mise en rapport avec les autres variables.

2. Analyse des résultats

La deuxième partie de ce chapitre analyse les relations entre la pensée opératoire formelle, la fréquentation des cours de sciences, le sexe des sujets et leurs résultats au test de raisonnement scientifique. Ces relations sont présentées à la figure 8. À la suite de différentes consultations, l'analyse multivariée (procédure *Manova* du logiciel SPSS, Nie et al., 1970) a été retenue comme procédure statistique permettant l'examen des relations entre les variables¹.

¹L'auteur désire remercier Messieurs Guy Lavoie, Ph.D., et Yves Lepage, Ph.D., pour leurs conseils.

Figure 8
Schéma des rapports entre les variables de la recherche



* La variable *voie suivie en mathématiques* est contrôlée par le choix d'un sous-groupe homogène de l'échantillon: garçons et filles de la voie régulière. Étant donné les résultats préliminaires observés, il a été jugé nécessaire d'inclure la variable contrôle *sexe* et d'exclure la *maturation* qui ne s'est pas avérée une variable pertinente.

2.1 Méthodes d'analyse

Dans cette recherche, la présence de plusieurs variables suggère l'existence de diverses corrélations. Il est aussi possible que certaines variables mesurent jusqu'à un certain point la même chose. Analyser séparément chacune de ces variables aboutirait à une redondance d'informations; en effet, les différences entre les groupes pourraient se trouver amplifiées par les corrélations entre certaines variables.

La recherche en éducation est, par définition, multivariée et le fait de n'étudier qu'une mesure dépendante à la fois ne permet pas de tenir compte de la complexité de la situation (Namboodiri, Carter et Blalock, 1975). Lorsqu'il y a plusieurs variables, comme c'est le cas ici, la présentation d'un grand nombre de tableaux, chacun comparant les groupes du point de vue d'une seule variable en négligeant de tenir compte du rôle des autres, peut aboutir à des conclusions erronées; d'une part, en effet, les variables ne sont pas nécessairement toutes connues et, d'autre part, l'échantillon ne permettant pas l'introduction de plus de quelques variables, le chercheur est amené à postuler que les autres variables ont un rôle négligeable (Namboodiri, Carter et Blalock, 1975). Par contre, les méthodes d'analyse multivariée permettent d'étudier simultanément plusieurs variables (Laforge, 1981), d'explorer leurs relations et d'identifier les dimensions significatives (Gendre, 1976). Elles éliminent ainsi la redondance d'une suite d'analyses dans lesquelles les corrélations seraient négligées. L'emploi de méthodes d'analyse multivariée doit donc être privilégié (Barker et Barker, 1984).

L'analyse multivariée est la partie de la statistique qui s'applique à

l'analyse des mesures multiples prises sur plusieurs échantillons d'individus. Ce qui différencie essentiellement l'analyse multivariée des méthodes univariées, c'est que toutes les mesures y sont analysées simultanément, en tenant compte de leurs covariances (Gendre, 1976). Les méthodes univariées conduisent à rejeter l'hypothèse nulle plus souvent qu'elles le devraient, avec comme conséquence de conclure à des relations en fait inexistantes (Gendre, 1976). Les méthodes multivariées, au contraire, neutralisent les aspects communs des diverses variables et nous aident à déterminer de quelle façon les variables changent en relation les unes avec les autres; elles sont utiles pour construire des modèles du comportement. En plus d'indiquer quels groupes diffèrent, elles indiquent comment ces groupes diffèrent, ce qui peut mener à de nouvelles hypothèses de recherche.

L'analyse multivariée de la variance, qui sera utilisée dans cette recherche, permet de neutraliser les aspects communs des variables dépendantes, qui sont, ici, les sous-tests de raisonnement scientifique, lorsque ces variables sont mises en relation avec les facteurs servant à former les groupes, soit les variables indépendantes; en l'occurrence, ces facteurs sont le stade formel, la fréquentation des cours de sciences et le

sexe. L'analyse discriminante qui est ensuite utilisée permet de déterminer, par ordre d'importance, les variables dépendantes responsables des différences entre les groupes formés par les facteurs.

L'analyse multivariée de la variance visera donc à vérifier ici si les groupes de sujets formés par chacun des niveaux d'un facteur, par exemple les sujets formels et les sujets en transition, présentent des moyennes égales à un ensemble de variables dépendantes, soit, en l'occurrence, les sous-tests de raisonnement scientifique. Cette vérification s'effectue au moyen d'un test F de Fisher qui mesure les différences observées au test de raisonnement scientifique entre les moyennes des groupes formés par les deux niveaux du facteur soit, dans notre cas, par les sujets en transition et par les sujets formels. Si l'on obtient un test F statistiquement significatif pour le facteur stade opératoire, on devra conclure que le facteur formel différencie les résultats des sujets formels et en transition aux sous-tests de raisonnement scientifique. Quatre tests permettent de vérifier la signification du rapport F: le lambda de Wilks, le test Lawley-Hotelling, le test de Roys et le test de Pillais (Barker et Barker, 1984). Lorsque les variables indépendantes ont deux niveaux, comme c'est le cas ici (sujets formels et sujets en transition, fréquentation faible et

fréquentation élevée des cours de sciences, garçons et filles), le test le plus sensible est le test de Roys. Comme le suggèrent Barker et Barker (1984), les résultats des quatre tests seront toutefois précisés pour chacune des analyses.

Un test significatif, par exemple le test de Roys, nous mènera à considérer que les groupes de sujets constitués par les facteurs diffèrent de façon significative quant à leurs moyennes aux sous-tests de raisonnement scientifique. La détermination des variables dépendantes responsables d'une telle différence entre les groupes peut ensuite se faire par une analyse univariée de la variance sur chacune de celles-ci, mais l'application de tests multiples augmente la probabilité d'apparition par simple hasard de différences significatives, soit une augmentation d'erreurs de type I; ce type d'erreur correspond à rejeter l'hypothèse nulle alors qu'en réalité elle est juste. Il est alors utile de procéder également au calcul de fonctions discriminantes; cette analyse doit se faire à la suite de l'observation d'une différence significative entre les moyennes aux variables dépendantes. Elle tente de déterminer, par ordre d'importance, les variables responsables de cette distinction des groupes (Laforge, 1981). La méthode des fonctions discriminantes permet de décrire les différences

quant aux résultats entre les groupes formés par les variables indépendantes (les facteurs), de comparer ces groupes et de prédire l'appartenance à un groupe (Gendre, 1976). L'importance discriminante de chaque fonction dérivée des variables dépendantes est indiquée par les corrélations dites canoniques entre ces fonctions discriminantes et l'appartenance aux divers groupes formés par les variables indépendantes (Goldman et al, 1973; Wilkinson, 1975; Kaplan et Litrownik, 1977; Laforge, 1981). Globalement, la méthode des corrélations canoniques permet d'analyser les relations entre deux jeux de variables en ne retenant que les dimensions significatives. En résumé, la méthode d'analyse multivariée de la variance permettra de vérifier s'il existe des différences significatives entre les moyennes des divers groupes de sujets constitués par les variables indépendantes aux sous-tests de raisonnement scientifique. Des analyses univariées de la variance, des analyses discriminantes ou des analyses canoniques permettront ensuite de décrire ces différences. Toutes ces analyses seront obtenues par la procédure *Manova* du logiciel SPSS. La figure 9 résume les analyses multivariées retenues en regard des hypothèses de cette recherche.

Figure 9
Méthodes d'analyse utilisées en regard des hypothèses

Hypothèses de la recherche	Méthodes d'analyse utilisées
Effet du stade opératoire, de la fréquentation des cours de sciences, du sexe des sujets et de leurs interactions sur l'acquisition du raisonnement scientifique	analyse multivariée de la variance analyses univariées de la variance analyse discriminante
Relations entre les épreuves de la pensée formelle et les sous-tests de raisonnement scientifique	analyse multivariée de la variance analyses univariées de la variance analyse discriminante et corrélations canoniques

L'analyse multivariée de la variance permettra donc de vérifier à la fois l'hypothèse selon laquelle il existe des interactions entre le niveau opératoire, l'expérience des cours de sciences et le sexe des sujets et l'effet individuel de ces variables indépendantes pour expliquer les résultats au test de raisonnement scientifique. L'analyse univariée de la variance et l'analyse discriminante permettront d'évaluer les effets observés pour chacune des variables indépendantes. Enfin, l'analyse des corrélations canoniques précisera la nature des liens entre chaque sous-test de raisonnement scientifique et chacune des épreuves formelles.

2.2 Description des résultats de l'analyse multivariée

Cette section présente les résultats de la recherche. Dans un premier temps, les conditions préalables à l'utilisation d'une analyse multivariée seront d'abord vérifiées; on présentera ensuite les résultats obtenus à l'aide de l'analyse multivariée. Rappelons que la vérification des hypothèses de la recherche s'est limitée à un sous-groupe homogène de l'échantillon initial, soit les garçons et les filles de la voie régulière en mathématiques, afin d'éviter que les variations possibles de cette caractéristique (la voie suivie en mathématiques) n'interagissent avec les variables dont on voulait vérifier le rôle et n'invalident ainsi les conclusions (Namboodiri, Carter et Blalock, 1975).

Vérification des préalables

Même si les analyses multivariées sont robustes quant à la violation des conditions préalables à leur utilisation, il est nécessaire de vérifier ces préalables car, d'une part, des écarts trop grands peuvent quand même invalider les résultats (Namboodiri, Carter et Blalock, 1975) et, d'autre part, si le sens des écarts identifiés est connu, une meilleure interprétation

des résultats est possible (Barker et Barker, 1984).

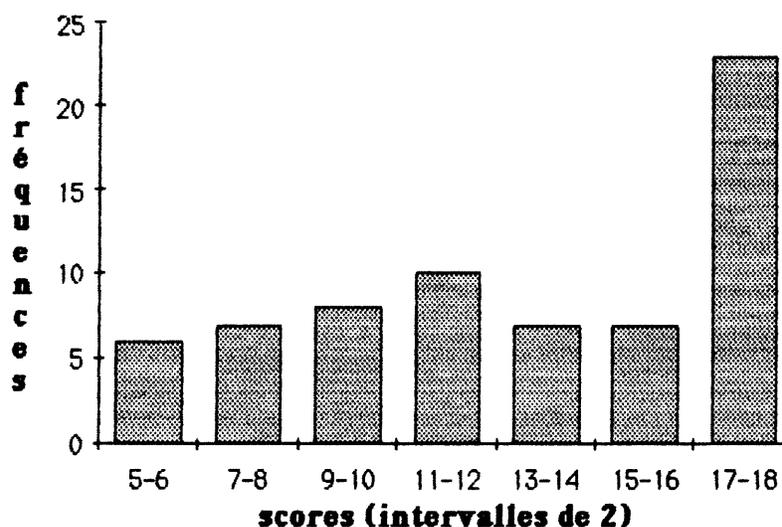
Il existe trois conditions d'utilisation de cette technique (Barker et Barker, 1984); en premier lieu, la distribution des variables dépendantes doit être normale; deuxièmement, la variance à l'intérieur des matrices de dispersion doit être homogène; enfin, en troisième lieu, le nombre de sujets à l'intérieur des groupes doit être égal s'il y a plus de deux groupes. Cependant, plusieurs études (Norton, 1952; Cooley et Lohnes, 1971) démontrent que le non respect systématique des deux premières conditions a très peu d'effet sur la distribution du F et sur les tests statistiques; en effet, la distribution des variables synthétiques, créées par une mise en relation mathématique des variables existantes, tend à être normale même si les variables individuelles qui la composent ne le sont pas (Barker et Barker, 1984). De même, selon Ito (1969), l'analyse multivariée de la variance est une technique robuste en ce qui concerne l'homogénéité des matrices de dispersion.

L'inégalité des effectifs est courante dans les recherches en sciences humaines (Namboodiri, Carter et Blalock, 1975) où les critères sont souvent

observés, comme c'est le cas dans la présente recherche, et non décidés à priori. Le logiciel SPSS effectue d'ailleurs les corrections nécessaires pour pallier aux inconvénients des fréquences inégales de sujets dans les cellules (Nie et al., 1970). L'inégalité des effectifs tend à rendre les tests statistiques plus conservateurs, c'est-à-dire qu'ils ne rendront pas significatifs des résultats qui ne le sont pas mais pourraient camoufler des résultats significatifs; si des résultats significatifs apparaissent, ce sera donc en dépit des fréquences inégales. L'inégalité des effectifs constitue une contrainte moins importante lorsqu'il s'agit d'une étude exploratoire, comme c'est le cas ici, que s'il s'agissait d'une étude normative. Enfin, il faut considérer l'ampleur des conditions préalables non respectées; s'il y en a plusieurs, cela peut invalider sérieusement les résultats.

Il faut d'abord vérifier dans un premier temps la normalité de la distribution des variables dépendantes au moyen d'un test Kolmogorov-Smirnov appliqué aux données brutes (logiciel SPSS). Un histogramme permet de plus de visualiser la symétrie de la distribution de ces variables. Les figures 10 à 13 illustrent les résultats pour chacune des variables dépendantes, soit les sous-tests de raisonnement scientifique,

Figure 10
Histogramme des scores au sous-test de l'identification
du problème et tests de Kolmogorov-Smirnov

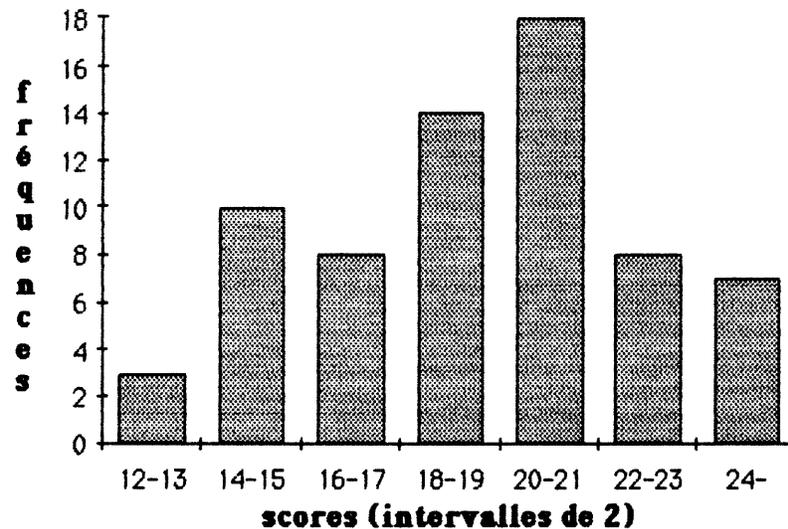


Mode	18,00	Médiane	13,25	Moyenne	13,03
Écart-type	4,30	Minimum	5,00	Maximum	18,00
Z Kolmogorov-Smirnov	1,37	p	0,05		

pour les sujets de la voie régulière en mathématiques.

Les tests Kolmogorov-Smirnov sont tous non significatifs ($p > 0,05$), la distribution des scores pour chacun des sous-tests de raisonnement scientifique étant normale, exception faite du sous-test identification du problème, où le Kolmogorov-Smirnov a une probabilité inférieure à 0,05. Les histogrammes des scores aux sous-tests de la formulation d'hypothèse, de la planification de l'expérimentation et de l'énonciation de la conclusion présentent en outre des distributions à peu près symétriques

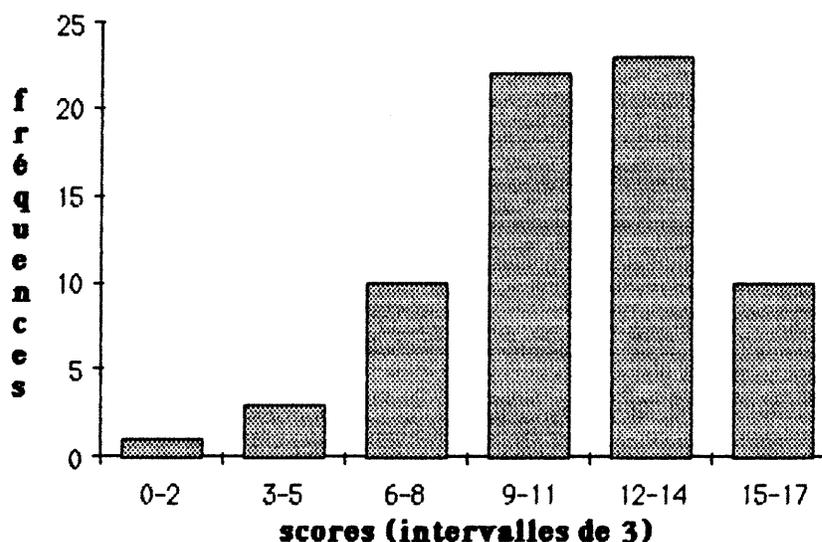
Figure 11
 Histogramme des scores au sous-test de la formulation
d'hypothèse et tests de Kolmogorov-Smirnov



Mode	21,00	Médiane	19,38	Moyenne	19,03
Écart-type	3,28	Minimum	12,00	Maximum	24,00
Z Kolmogorov-Smirnov	0,87	p	0,44		

(figures 11 à 13); par contre, les scores au sous-test de l'identification du problème (figure 10) présentent une distribution non symétrique. Il faudra donc tenir compte de l'anormalité et de l'asymétrie des scores de ce sous-test lors de la présentation et de la discussion des résultats.

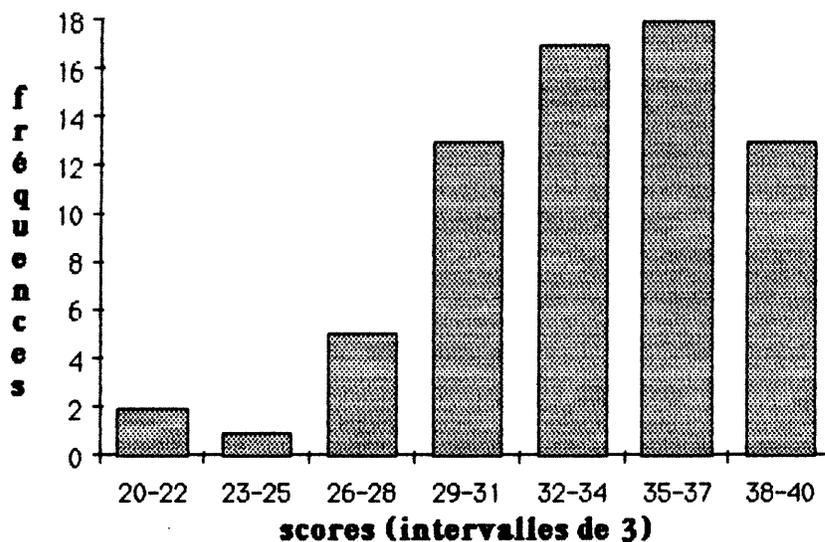
Figure 12
 Histogramme des scores au sous-test de la planification
 de l'expérimentation et tests de Kolmogorov-Smirnov



Mode	14,00	Médiane	11,29	Moyenne	10,97
Écart-type	3,42	Minimum	0,00	Maximum	17,00
Z Kolmogorov-Smirnov	0,94	p	0,35		

Il faut en second lieu vérifier l'homogénéité des matrices de variance-covariance et l'homogénéité de la variance des groupes de chaque mesure dépendante. Le test M de Box mesure l'homogénéité des matrices de variance-covariance. Les résultats présentés au tableau XIX permettent de conclure à l'homogénéité des matrices de variance-covariance avec des valeurs de 103,71 au M de Box et de 1,28 comme valeur du rapport F; cette dernière valeur a un niveau de signification supérieur à 0,05. Le test

Figure 13
Histogramme des scores au sous-test de l'énonciation
de la conclusion et tests de Kolmogorov-Smirnov



Mode	36,00	Médiane	34,18	Moyenne	33,48
Écart-type	4,58	Minimum	20,00	Maximum	40,00
Z Kolmogorov-Smirnov	1,24	p	0,09		

de Cochran effectué sur chacune des quatre mesures dépendantes, dont les valeurs sont présentées au tableau XIX, permet de conclure à l'homogénéité de la variance des scores des sujets aux quatre sous-tests de raisonnement scientifique, leurs niveaux de signification étant tous supérieurs à 0,05.

Tableau XIX
 Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M (multivariés)
 pour chacun des sous-tests de raisonnement scientifique

Sous-tests de raisonnement scientifique	Tests d'homogénéité	
	Cochran	p*
Identification du problème	0,26	0,22
Formulation d'hypothèse	0,21	0,72
Planification de l'expérimentation	0,27	0,17
Énonciation de la conclusion	0,25	0,27
Box M	103,71	
F	1,28	
	0,07	
p*	60	
degré de liberté		

* probabilité approximative

En résumé, l'échantillon retenu, soit les 69 sujets de la voie régulière en mathématiques, répond dans l'ensemble aux caractéristiques méthodologiques qui sont préalables à l'utilisation des techniques multivariées: normalité des distributions des résultats aux variables dépendantes, symétrie des distributions de ces résultats, sauf pour le sous-test de l'identification du problème, homogénéité des matrices de variance-covariance et homogénéité de la variance des groupes de chaque

mesure dépendante. Les violations constatées ne sont pas très importantes, les tests multivariés étant robustes; mais il faudra en tenir compte lors de l'interprétation des résultats. Enfin, la répartition inégale des sujets selon les variables de la recherche, qui est minime (tableau XX), ne pose pas de difficulté, le progiciel SPSS effectuant les corrections (Nie et al., 1970).

Résultats des analyses multivariées pour l'ensemble des variables

Le tableau XX présente les résultats moyens des groupes formés par les variables indépendantes. On y remarque des écarts entre les moyennes à certains sous-tests de raisonnement scientifique pour quelques groupes de sujets. L'identification du problème est le sous-test où l'on observe l'écart le plus important entre les moyennes des groupes, les résultats variant de 10,11 à 17,86; les moyennes à ce sous-test varient selon le stade opératoire des sujets, la fréquentation des cours de sciences et le sexe. Les résultats à ce sous-test semblent confirmer les hypothèses avancées quant à la performance supérieure des sujets formels et des

Tableau XX

Résultats moyens et écarts-types aux sous-tests de raisonnement scientifique et effectifs dans chaque groupe de sujets formé par le stade, la fréquentation des cours de sciences et le sexe

Groupes	Problème		Hypothèse		Expérimentation		Conclusion	
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
En transition								
fréquentation faible des cours de sciences								
garçons (n=9)	10,11	4,26	19,44	3,68	9,33	2,74	32,67	4,82
filles (n=16)	11,56	3,69	17,88	3,65	10,00	4,73	33,38	4,19
fréquentation élevée des cours de sciences								
garçons (n=11)	11,64	3,53	20,00	2,41	10,18	2,32	34,27	5,57
filles (n=8)	14,13	3,98	19,50	2,78	12,50	2,14	32,63	3,25
Formels								
fréquentation faible des cours de sciences								
garçons (n=6)	13,33	5,47	19,17	3,49	12,83	2,32	35,17	5,53
filles (n=4)	16,75	1,50	18,00	3,46	10,75	4,65	33,75	3,86
fréquentation élevée des cours de sciences								
garçons (n=6)	14,00	4,78	19,00	2,76	12,67	3,01	32,50	2,66
filles (n=7)	17,86	0,38	19,57	4,39	11,86	2,67	33,71	6,75
Tous les sujets (n=67)								
	13,03	4,30	19,03	3,28	10,97	3,42	33,48	4,58

sujets qui fréquentent le plus grand nombre de cours de sciences; les filles ont également un score plus élevé que celui des garçons. Au sous-test de la formulation d'hypothèse, il y a peu d'écart entre les résultats moyens des groupes, qui varient de 17,88 à 20,00; à ce sous-test, les garçons ont un score moyen supérieur à celui des filles, sauf chez les sujets formels ayant une fréquentation élevée des cours de sciences où les résultats des filles sont meilleurs. L'écart est un peu plus grand entre les moyennes au sous-test de la planification de l'expérimentation, qui varient de 9,33 à 12,67: le stade opératoire des sujets semble responsable de cet écart. Les moyennes des divers groupes au sous-test de l'énonciation de la conclusion semblent comparables, de 32,50 à 35,17 et aucune des variables servant à former les groupes ne semble liée aux résultats.

Les corrélations entre les variables dépendantes sont présentées à l'appendice D, de même que la variance et la covariance à l'intérieur des huit groupes formés par les trois facteurs (stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe) à chaque sous-test de raisonnement scientifique. Les corrélations observées sont faibles et varient de -0,20 à 0,18, ce qui devrait faciliter l'interprétation des résultats des analyses

multivariées puisque même s'il y a un certain recouvrement entre ce que mesurent les sous-tests, chacun semble comporter une information spécifique. On peut déjà remarquer que l'énonciation de la conclusion est en corrélation très faible (et négative) avec les autres sous-tests. Le tableau XXI présente les résultats de l'analyse multivariée des sous-tests de raisonnement scientifique pour les variables retenues: le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe des sujets, de même que pour les interactions entre ces variables. Pour l'ensemble des vérifications statistiques, la probabilité retenue sera inférieure au seuil de 0,05.

Le tableau XXI ne révèle aucune interaction entre les facteurs en ce qui concerne leur effet sur les sous-tests de raisonnement scientifique, infirmant ainsi l'hypothèse d'une influence conjointe du stade de développement et d'un facteur d'expérience spécifique représenté par la fréquentation des cours de sciences. Seul le stade opératoire est en relation significative avec les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique (test de Roys-0,235, $p=0,004$). Les facteurs autres que le stade opératoire n'ont aucun effet sur les résultats aux sous-tests; la fréquentation des

cours de sciences et le sexe des sujets ne sont donc pas en relation avec les résultats au test de raisonnement scientifique. Les hypothèses formulées quant à l'influence individuelle des variables de la recherche (stade opératoire, fréquentation des cours de sciences, sexe) doivent donc être rejetées, mise à part l'hypothèse de l'effet du stade opératoire des sujets. Un indice de la contribution de chacune des variables et de leurs interactions est fourni par la corrélation canonique au carré (R^2) indiquée au tableau XXI. Cet indice exprime le pourcentage de la variance dû à chaque variable. Aucune interaction ne contribue de fait de façon importante à la variance exprimée. Par ordre d'importance, les variables expriment respectivement 23,5% de la variance pour le stade opératoire, 13,1% pour le sexe et 7,0% pour la fréquentation des cours de sciences. Au total, le modèle de la recherche explique 57% de la variance. Pour vérifier de manière plus précise la contribution de chacun des sous-tests de raisonnement scientifique à la formation des vecteurs du facteur qui s'est avéré significatif, soit le stade opératoire des sujets, une série de tests univariés ont été effectués entre ce facteur et chaque sous-test de raisonnement scientifique. Les résultats paraissent au tableau XXII.

Tableau XXI

Tests multivariés appliqués aux résultats des sous-tests de raisonnement scientifique pour les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe et leurs interactions

Variables	Pillais	Hotelling	Wilks	Roys	p	R²
Interactions						
Stade x science x sexe (F exact - 0,251)*	0,018	0,018	0,982	0,018	0,908	0,018
Science x sexe (F exact - 0,294)*	0,021	0,021	0,979	0,021	0,881	0,021
Stade x sexe (F exact - 1,015)*	0,068	0,072	0,932	0,068	0,408	0,068
Stade x science (F exact - 0,390)*	0,027	0,028	0,973	0,027	0,815	0,027
Sexe (F exact - 2,119)*	0,131	0,151	0,869	0,131	0,090	0,131
Fréquentation des cours de sciences (F exact - 1,057)*	0,070	0,076	0,930	0,070	0,386	0,070
Stade opératoire (F exact - 4,311)*	0,235	0,308	0,765	0,235	0,004	0,235

degré de liberté hypothétique - 4,00, erreur - 56,00

* - F exact pour les tests de Pillais, Hotelling et Wilks

Les résultats des tests univariés rapportés au tableau XXII démontrent que les sous-tests identification du problème et planification de l'expérimentation contribuent à la formation de deux groupes de sujets aux moyennes significativement différentes; la probabilité est inférieure à

Tableau XXII

Résultats des tests univariés effectués sur les rapports entre les résultats au facteur stade opératoire et les résultats à chacun des sous-tests de raisonnement scientifique

Sous-test du raisonnement scientifique	Somme des carrés	df	Moyenne des carrés	F	p	Test t univarié	p
Identification du problème							
hypothèse	209,951	1	209,951	13,485	0,000	-3,61	0,001
erreur	1011,989	65	15,569				
Formulation d'hypothèse							
hypothèse	0,007	1	0,007	0,001	0,981	0,30	0,762
erreur	711,934	65	10,953				
Planification de l'expérimentation							
hypothèse	47,150	1	47,150	4,240	0,043	-1,72	0,090
erreur	722,791	65	11,120				
Énonciation de la conclusion							
hypothèse	3,258	1	3,258	0,154	0,696	-0,44	0,665
erreur	1379,459	65	21,222				

0,05 dans les deux cas en ce qui concerne le test F; par contre, le test t univarié se révèle significatif ($p < 0,05$) seulement pour le sous-test identification du problème. Ce sous-test ayant le test F univarié le plus élevé (13,485) et un test t significatif ($p = 0,001$), il s'agit de la variable dépendante la plus reliée au stade opératoire.

Compte tenu du caractère significatif de certains résultats de l'analyse multivariée et de l'analyse univariée, une analyse discriminante a également été effectuée sur les relations entre les sous-tests de raisonnement scientifique et le stade opératoire. Une fonction discriminante significative indiquera que les résultats aux sous-tests identification du problème et planification de l'expérimentation peuvent identifier des groupes différents, en l'occurrence les sujets formels et les sujets en transition et des coefficients significatifs (supérieurs à 0,30) confirmeront la validité de la distinction ainsi faite. Comme les coefficients standardisés sont indépendants de l'échelle de mesure, ils sont utilisés à titre d'indices de l'importance des variables. Nous avons également procédé à une analyse des corrélations canoniques pour mesurer l'importance de la fonction discriminante; ce type d'analyse est valable dans le cas de mesures en catégories. Le tableau XXIII présente ces résultats.

Les données du tableau XXIII démontrent que seuls les sous-tests de l'identification du problème et de la planification de l'expérimentation contribuent à la fonction discriminante, c'est-à-dire que leurs poids

Tableau XXIII
Coefficients standardisés de la fonction discriminante et corrélations
canoniques entre les sous-tests de raisonnement scientifique et la fonction
discriminante due à la variable stade opératoire

Sous-tests de raisonnement scientifique	Coefficient de la fonction discriminante	Corrélations canoniques avec la fonction discriminante
Identification du problème	0,868	0,890
Formulation d'hypothèse	-0,200	0,006
Planification de l'expérimentation	0,411	0,499
Énonciation de la conclusion	0,250	0,095
Estimé de l'effet de la fonction discriminante	-0,531	

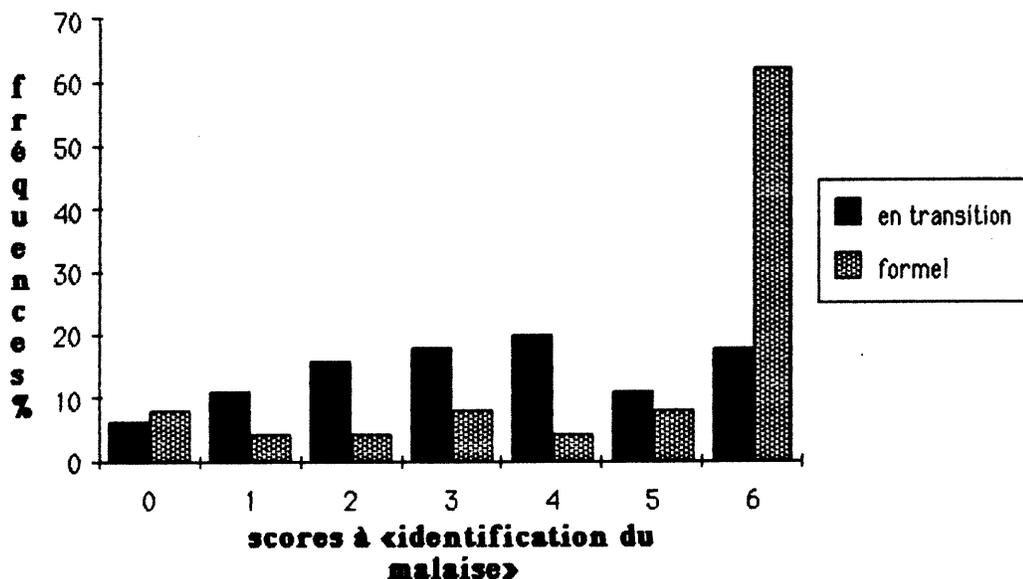
discriminants (les coefficients) et les indices de corrélation canonique sont supérieurs à 0,30; ces résultats sont respectivement de 0,868 et de 0,890 pour le sous-test identification du problème alors qu'ils sont de 0,411 et de 0,499 pour le sous-test planification de l'expérimentation, ce qui confirme les résultats de l'analyse multivariée ainsi que des analyses univariées. La valeur de l'estimé de l'effet de la fonction discriminante, soit -0,531, confirme l'efficacité de la séparation des groupes de sujets selon le stade opératoire.

L'utilisation des critères de correction prévus pour la forme ouverte

du test de raisonnement scientifique (figure 5 p. 87) permet de distinguer davantage les sujets formels des sujets en transition, en précisant leurs résultats aux opérations sous-jacentes à chacun des sous-tests qui se sont révélés en relation avec le stade opératoire, c'est-à-dire l'identification du problème et la planification de l'expérimentation. Les figures 14 et 15 illustrent la distribution des scores des sujets aux opérations «identification du malaise» et «formulation générale» du sous-test de l'identification du problème. Les figures illustrent une différence très nette à ces opérations selon le stade opératoire, les sujets formels obtenant majoritairement le score maximal (six points) alors que les sujets en transition se distribuent presque également le long de l'échelle de zéro à six points. Le stade opératoire différencie donc nettement les scores des sujets à chacun des deux critères de correction retenus pour cette habileté et le résultat global au sous-test, illustré à la figure 16, présente une allure asymétrique précisément à cause des sujets formels qui obtiennent presque tous le score maximal aux opérations sous-jacentes.

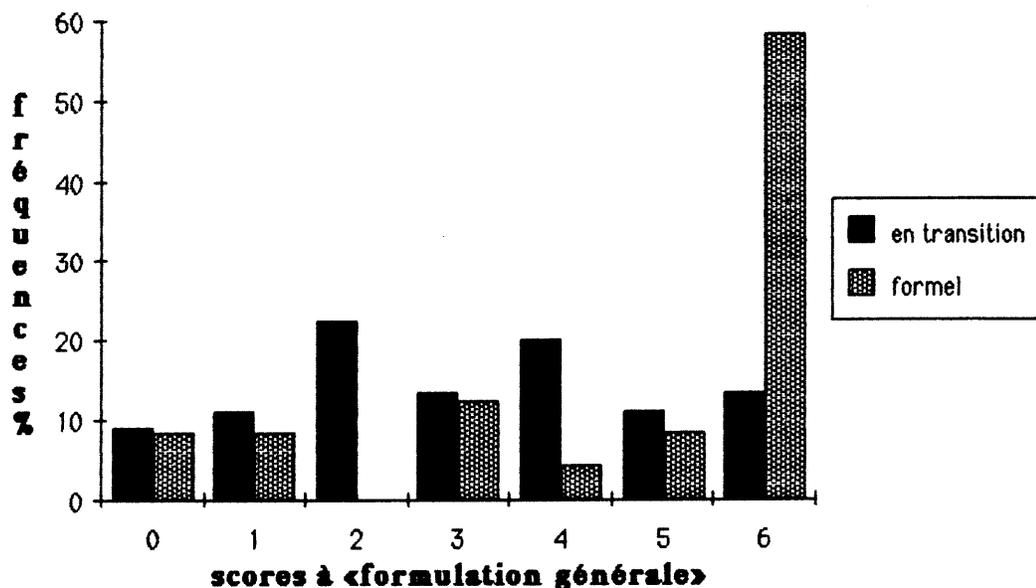
Les figures 17 à 21 illustrent la distribution des scores des sujets formels et des sujets en transition aux opérations sous-jacentes au

Figure 14
 Distribution des scores au critère «identification du
 malaise» du sous-test de l'identification du problème
 selon le stade opératoire des sujets



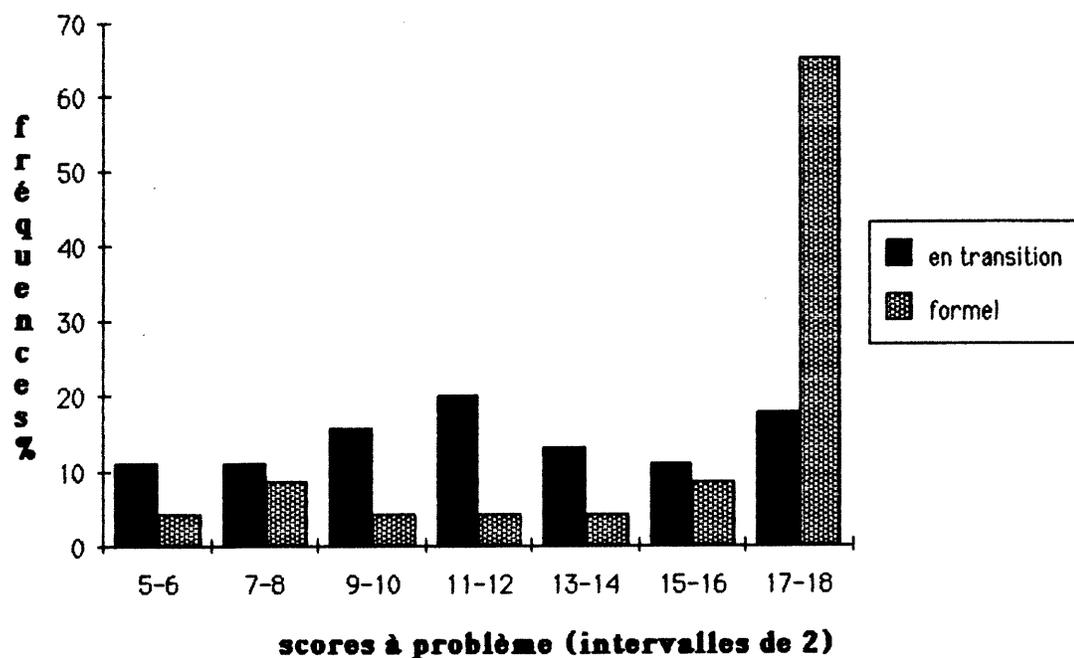
sous-test de la planification de l'expérimentation: ces opérations sont «l'énumération du matériel», la «mesure de la variable indépendante», la «mesure de la variable dépendante», la «mention des variables contrôles» et la «schématisation du déroulement de l'expérience». Il faut rappeler que ce sous-test se présentait sous la forme de questions ouvertes, le sujet devant élaborer lui-même ses réponses. Il y a peu de différence entre les scores des sujets formels et ceux des sujets en transition aux critères de l'«énumération du matériel» (figure 17), de la «mesure de la variable indépendante» (figure 18) et de la «mesure de la variable dépendante»

Figure 15
 Distribution des scores au critère «formulation générale» du sous-test de l'identification du problème selon le stade opératoire des sujets



(figure 19), mis à part le fait qu'il y a moins de sujets formels obtenant les scores les plus faibles. Il y a un certain écart en faveur des sujets formels dans la distribution des scores aux critères de la «mention des variables contrôles» (figure 20) et de la «schématisation du déroulement de l'expérience» (figure 21); ces dernières différences sont toutefois moins évidentes que dans le cas des critères mesurant l'identification du problème. La distribution des scores observés au sous-test de la planification de l'expérimentation, illustrée à la figure 22, démontre que

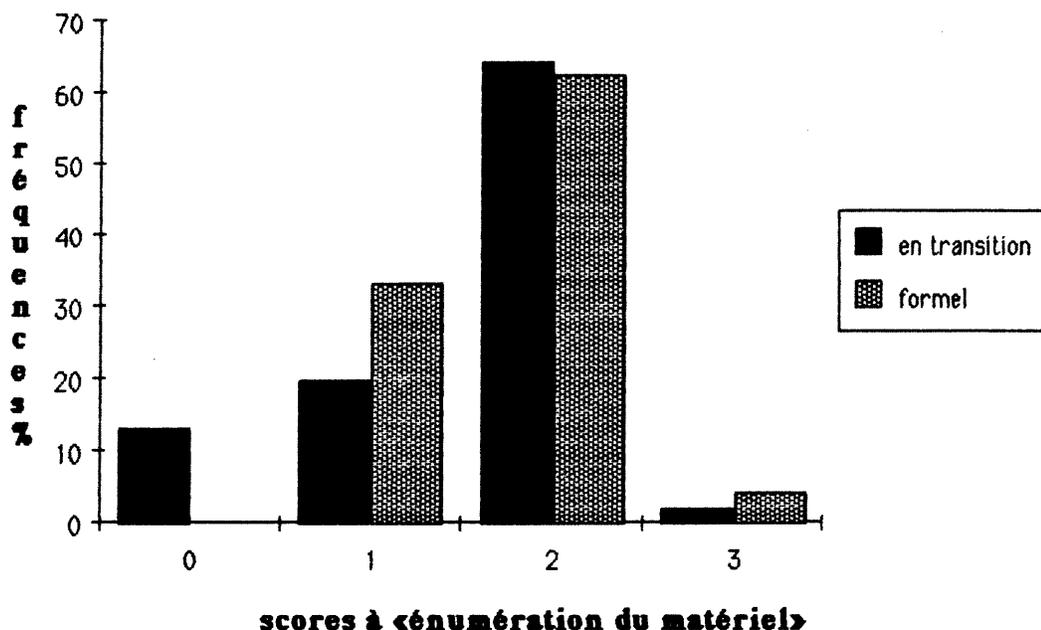
Figure 16
 Distribution des scores au sous-test de l'identification
du problème selon le stade opératoire des sujets



dans l'ensemble, les sujets formels ont une meilleure performance que les sujets en transition.

La figure 23 illustre la position relative des moyennes des huit groupes formés par la combinaison des variables étudiées, c'est-à-dire le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe, et permet de mieux évaluer l'effet de ces variables sur le raisonnement scientifique.

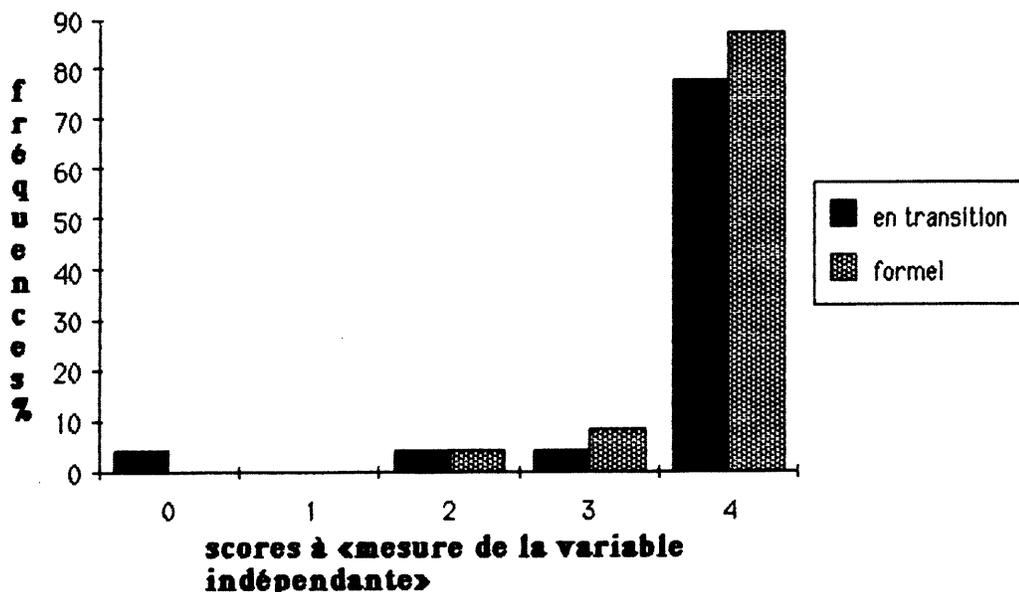
Figure 17
 Distribution des scores au critère «énumération du matériel» du sous-test de la planification de l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets



Le calcul des positions relatives, appelées centroïdes en analyse multivariée, s'effectue en additionnant les produits de la moyenne d'un groupe à chacune des variables dépendantes (à chacun des sous-tests du raisonnement scientifique) par le poids discriminant de cette variable. Ainsi, pour le groupe de sujets masculins en transition ayant une faible fréquentation des cours de sciences, la moyenne (transformée en cote z) à chacun des sous-tests (tableau XX) est multipliée par le poids discriminant correspondant (tableau XXIII); l'addition de ces produits donne un score de -0,86 à la fonction discriminante, alors que ce même calcul pour le groupe

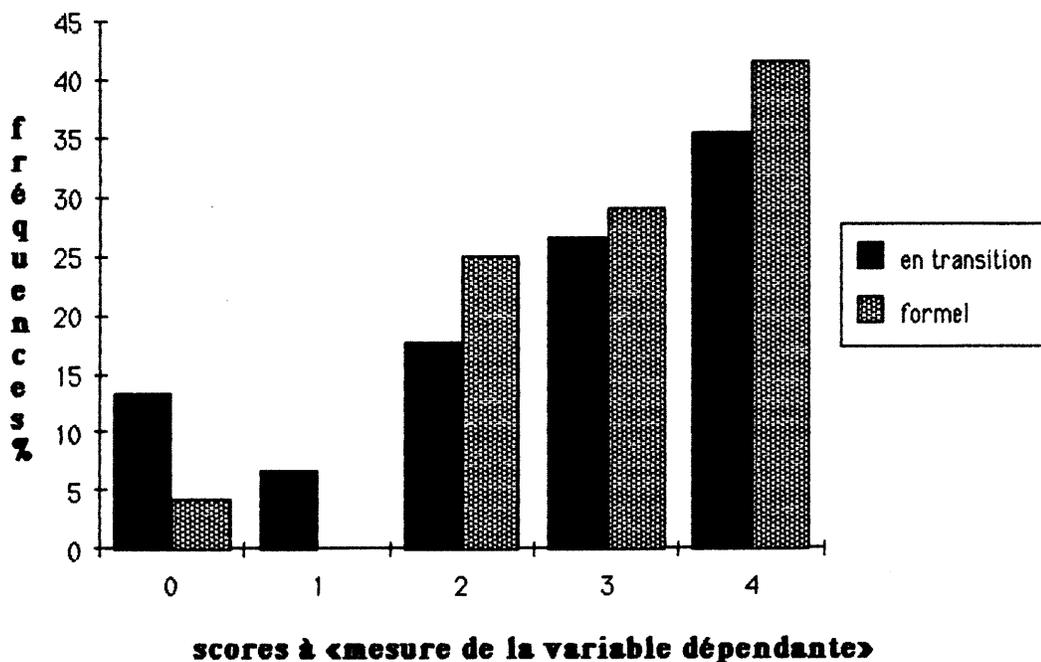
Figure 18

Distribution des scores au critère « mesure de la variable indépendante » du sous-test de la planification de l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets



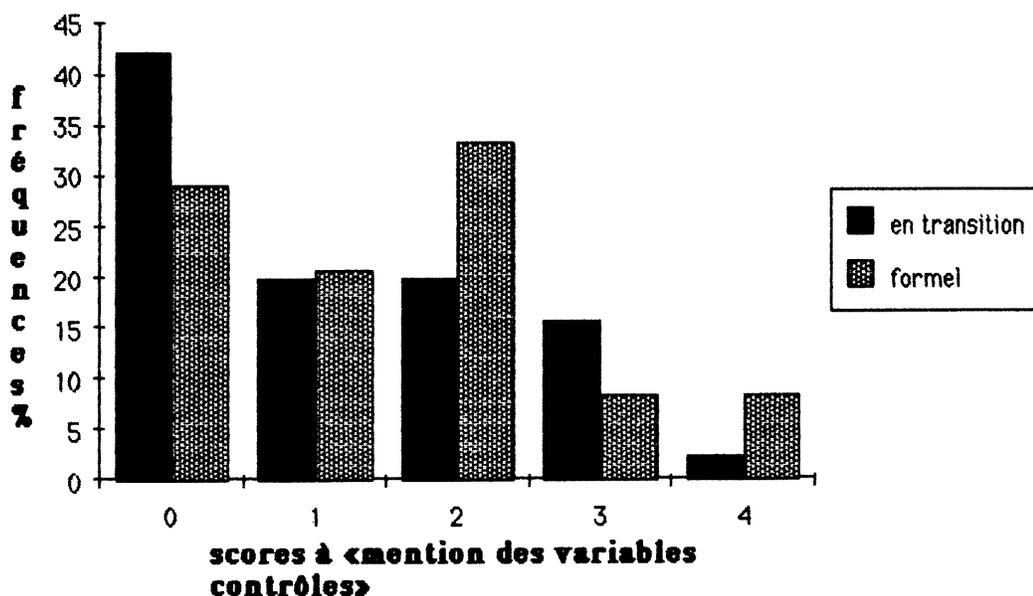
équivalent de sujets féminins donne un score de $-0,35$. La figure 23 illustre ces positions relatives pour les huit groupes étudiés. Les scores négatifs (inférieurs à zéro) observés chez certains groupes indiquent un score inférieur à la moyenne de l'ensemble des sujets et un score positif, un résultat supérieur à l'ensemble. Tous les groupes de sujets formels ont obtenu des scores supérieurs aux groupes de sujets en transition; la distribution illustre bien la relation significative entre le stade opératoire

Figure 19
 Distribution des scores au critère « mesure de la variable dépendante » du sous-test de la planification de l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets



et les résultats. Là encore, par contre, on voit que la fréquentation des cours de sciences et le sexe des sujets n'ont pas d'effet évident; les groupes à fréquentation faible ou élevée se répartissent assez également le long de la fonction discriminante, illustrant l'absence de relation de cette variable avec les résultats au test de raisonnement scientifique. Il y a lieu d'apporter des nuances toutefois en ce qui concerne le sexe des sujets. Même si l'effet mesuré n'est pas significatif ($p=0,09$, tableau XXI), on peut observer une certaine tendance dans les résultats, les filles obtenant, à la

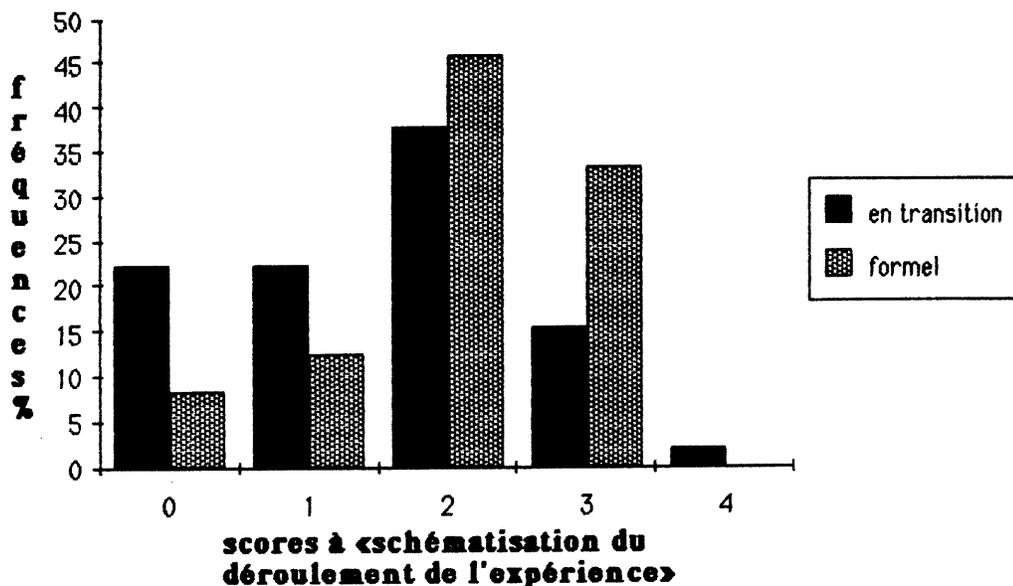
Figure 20
 Distribution des scores au critère «mention des variables
 contrôle» du sous-test de la planification de
l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets



fonction discriminante, des scores supérieurs à ceux des garçons des groupes équivalents (figure 23).

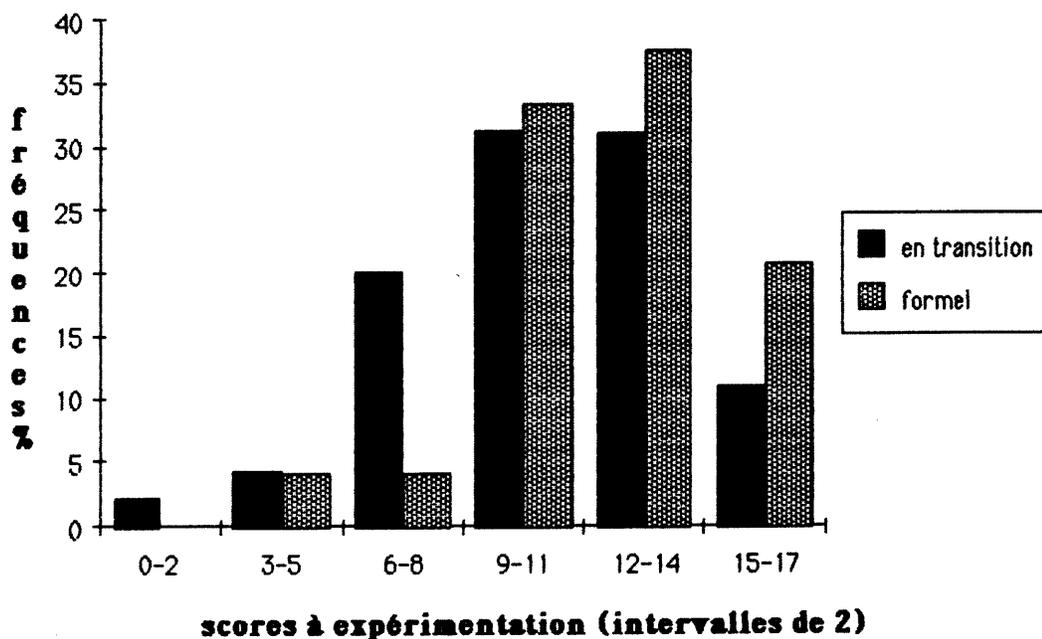
Les scores observés à la fonction discriminante permettent donc d'observer quatre groupes de résultats. Un premier groupe, formé par les garçons en transition ayant une fréquentation faible des cours de sciences, a une performance très faible; un deuxième groupe à performance faible est formé par les garçons en transition ayant une fréquentation élevée des cours de sciences et par les filles en transition ayant une faible

Figure 21
 Distribution des scores au critère «schématisation du déroulement de l'expérience» du sous-test de la planification de l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets



fréquentation de ces cours; le troisième groupe, dont la performance est moyenne, est formé par les filles en transition ayant une fréquentation élevée des cours de sciences et par les garçons formels qui suivent peu de cours de sciences ainsi que par les garçons formels qui en suivent plusieurs. Enfin, le quatrième groupe, qui obtient une performance supérieure à tous les autres groupes, est formé par les filles formelles, peu importe leur fréquentation des cours de sciences.

Figure 22
Distribution des scores au sous-test de la planification de l'expérimentation selon le stade opératoire des sujets

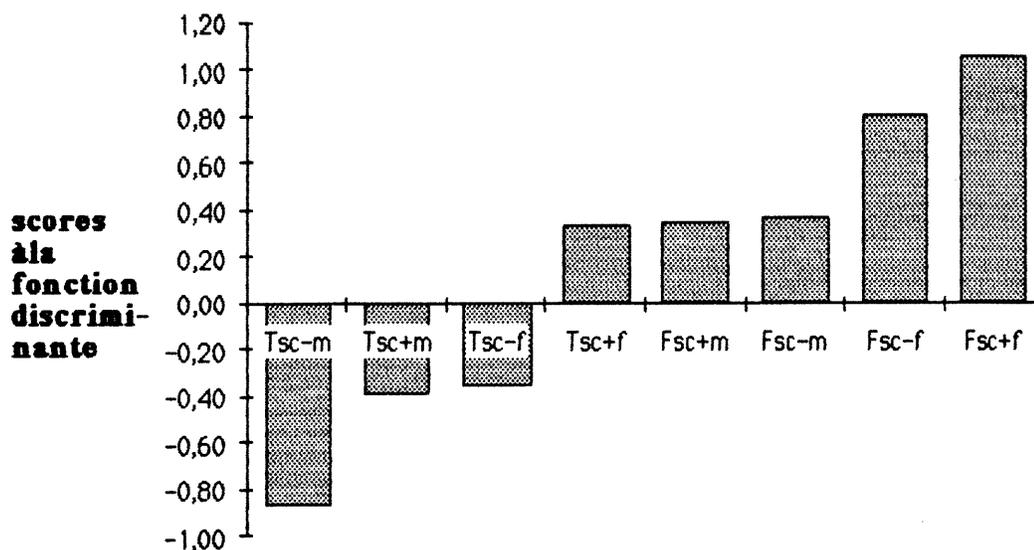


Résultats des analyses multivariées pour chacune des épreuves formelles

Les premières analyses ayant révélé que seul le stade opératoire influençait les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique, nous avons procédé à de nouvelles analyses multivariées, en ne considérant cette fois que les résultats d'une épreuve formelle à la fois afin d'identifier des relations plus précises entre les différents sous-tests de raisonnement scientifique et les épreuves formelles. Les sous-tests de raisonnement scientifique satisfont, comme on l'a déjà vu, aux conditions préalables à

Figure 23

Distribution des scores de la fonction discriminante des huit groupes de sujets formés par le classement combiné selon le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe



groupes formés par les variables indépendantes

T = stade en transition	sc- = fréquentation faible des cours de sciences	m = sexe masculin
F = stade formel	sc+ = fréquentation élevée des cours de sciences	f = sexe féminin

l'utilisation d'analyses multivariées, mis à part le sous-test identification du problème, dont la distribution des scores n'est pas normale. Il faut cependant vérifier l'homogénéité des variances pour ce qui est des épreuves opératoires car les groupes formés ne sont plus tout à fait les mêmes, les sujets étant regroupés selon le stade opératoire observé pour chacune des épreuves et non plus selon un stade global défini d'après la

réussite de deux épreuves sur trois. Les résultats sont présentés aux tableaux XXIV à XXVI respectivement pour les épreuves de l'équilibre de la balance, de la quantification des probabilités et de l'implication. Les tableaux XXIV à XXVI indiquent qu'il y a homogénéité des matrices de variance-covariance avec respectivement des valeurs de 8,105 au M de Box (rapport F de 0,756) pour les groupes formés de sujets

Tableau XXIV
Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M
(multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique
à l'épreuve équilibre de la balance

Sous-tests de raisonnement scientifique	Cochran	p*
<u>Epreuve: équilibre de la balance</u> (F = 1,123 dl = 32,2)		
Identification du problème	0,543	0,630
Formulation d'hypothèse	0,516	0,855
Planification de l'expérimentation	0,592	0,291
Énonciation de la conclusion	0,635	0,119
Box M		8,105
F		0,756
	p*	0,672
	dl	10

* probabilité approximative

Tableau XXV
 Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M
 (multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique
 à l'épreuve quantification des probabilités

Sous-tests de raisonnement scientifique	Cochran	p[*]
Épreuve: quantification des probabilités (F = 1,105 dl = 32,2)		
Identification du problème	0,523	0,797
Formulation d'hypothèse	0,515	0,862
Planification de l'expérimentation	0,558	0,508
Enonciation de la conclusion	0,552	0,559
Box M		3,654
F		0,339
	p [*]	0,971
	dl	10

* probabilité approximative

formels ou en transition à l'équilibre de la balance, de 3,654 (rapport F de 0,339) pour les groupes formés de sujets formels ou en transition à l'épreuve de la quantification des probabilités et, enfin, de 7,353 au M de Box (0,677 comme valeur du rapport F) pour les groupes de sujets formels ou en transition à l'épreuve d'implication. Tous les seuils de signification

sont supérieurs à 0,05. De même, les tests de Cochran, dont les valeurs sont présentées dans les tableaux XXIV à XXVI, permettent de conclure à l'homogénéité de la variance des groupes formés par les sujets formels ou par les sujets en transition à chacune des trois épreuves, et cela pour les quatre sous-tests du raisonnement scientifique, leurs niveaux de signification étant tous supérieurs à 0,05.

Les conditions préalables à l'utilisation des tests multivariés sont donc toutes respectées, sauf pour ce qui est de la normalité de la distribution du sous-test identification du problème (cf discussion p. 146). Les résultats moyens ainsi que les écarts-types des sous-groupes formés par les résultats aux épreuves opératoires sont présentés au tableau XXVII.

Les données paraissant au tableau XXVII démontrent certains écarts entre les groupes en transition et les groupes formels à chacune des épreuves formelles pour ce qui est des résultats à l'identification du problème (scores moyens variant de 12,233 à 14,591) et à la planification de l'expérimentation (scores variant de 10,135 à 12,500), mais des écarts

Tableau XXVI
 Tests d'homogénéité de Cochran (univariés) et de Box M
 (multivariés) pour les sous-tests de raisonnement scientifique
 à l'épreuve implication

Sous-tests de raisonnement scientifique	Cochran	p*
<u>Epreuve:implication</u>		
(F = 1,894 dl = 32,2)		
Identification du problème	0,522	0,803
Formulation d'hypothèse	0,508	0,927
Planification de l'expérimentation	0,638	0,110
Énonciation de la conclusion	0,579	0,370
Box M		7,353
F		0,677
	p*	0,747
	dl	10

* probabilité approximative

relatifs moins importants pour ce qui est des résultats à la formulation d'hypothèse (scores variant de 18,700 à 19,636) et à l'énonciation de la conclusion (scores variant de 32,952 à 34,360); pour ces deux derniers sous-tests, les écarts jouent d'ailleurs parfois en faveur du groupe de sujets en transition. On s'attend donc à ce que seuls les sous-tests identification du problème et planification de l'expérimentation soient en relation avec

Tableau XXVII
 Résultats moyens et écarts-types aux sous-tests de raisonnement scientifique et effectifs
 dans les groupes de sujets formels ou en transition à chaque épreuve formelle

Épreuves	Problème		Hypothèse		Expérimentation		Conclusion	
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
Balance								
en transition (n=37)	12,24	4,08	19,30	3,25	10,14	3,57	33,89	3,98
formels (n=30)	14,00	4,44	18,70	3,35	12,00	2,96	32,97	5,25
Probabilités								
en transition (n=42)	12,23	4,17	18,98	3,35	10,74	3,57	32,95	4,38
formels (n=25)	14,20	4,36	19,12	3,24	11,36	3,17	34,36	4,86
Implication								
en transition (n=45)	12,27	4,13	18,73	3,26	10,22	3,52	33,42	4,36
formels (n=22)	14,59	4,32	19,64	3,32	12,50	2,65	33,59	5,11

les épreuves formelles. Le tableau XXVIII présente les résultats des analyses multivariées appliquées aux sous-tests du raisonnement scientifique, selon les stades opératoires observés à chacune des épreuves formelles.

Tableau XXVIII

Tests multivariés appliqués aux sous-tests de raisonnement scientifique pour les épreuves: équilibre de la balance, quantification des probabilités et implication

Variables	Pillais	Hotelling	Wilks	Roys	p
Équilibre de la balance (F exact - 2,117)	0,120	0,137	0,880	0,120	0,089
Quantification des probabilités (F exact - 1,267)	0,076	0,082	0,924	0,076	0,293
Implication (F exact - 2,520)	0,140	0,163	0,860	0,140	0,050

degré de liberté hypothétique - 4, erreur - 62

Les tests multivariés ont été calculés pour une épreuve à la fois.

D'après le tableau XXVIII, la seule épreuve formelle qui serait en relation avec les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique est l'implication ($p \leq 0,05$), l'épreuve représentant la logique propositionnelle.

Cette épreuve fait appel aux deux structures formelles de base, la structure combinatoire et le groupe I.N.R.C. Les deux autres épreuves utilisées, soit l'équilibre de la balance et la quantification des probabilités, qui représentent chacune une structure plus particulière de la pensée formelle, ne sont pas en relation significative avec les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique. Les résultats des analyses multivariées étant significatifs, nous avons procédé pour l'épreuve d'implication à une analyse univariée des résultats à chacun des sous-tests de raisonnement scientifique. Ces résultats sont présentés au tableau XXIX.

Les résultats du tableau XXIX indiquent que les deux groupes de sujets, les sujets formels et les sujets en transition à l'épreuve d'implication, ont des moyennes significativement différentes aux sous-tests de l'identification du problème et de la planification de l'expérimentation; la probabilité est inférieure à 0,05 dans les deux cas, à la fois aux tests F et aux tests t. La planification de l'expérimentation ayant le test F univarié le plus élevé (valeur de 7,188, $p=0,009$) et le test t le plus significatif ($p=0,009$), il s'agit de la variable dépendante la plus en relation avec la réussite de l'épreuve d'implication. Les résultats

Tableau XXIX
 Résultats des tests univariés effectués sur les rapports entre les
 résultats à l'épreuve implication et les résultats à chacun des
 sous-tests de raisonnement scientifique

Sous-tests de raisonnement scientifique	Somme des carrés	dl	Moyenne des carrés	F	p	Test t univarié	p
Identification du problème							
hypothèse	79,822	1	79,822	4,543	0,037	-2,13	0,037
erreur	1142,118	65	17,571				
Formulation d'hypothèse							
hypothèse	12,049	1	12,049	1,119	0,294	-1,06	0,294
erreur	699,891	65	10,768				
Planification de l'expérimentation							
hypothèse	76,663	1	76,663	7,188	0,009	-2,68	0,009
erreur	693,278	65	10,666				
Énonciation de la conclusion							
hypothèse	0,420	1	0,420	0,020	0,889	-0,14	0,889
erreur	1382,296	65	21,266				

multivariés étant significatifs, une analyse discriminante a aussi été effectuée; de plus, une analyse des corrélations canoniques permettra de mesurer l'importance de la fonction. Les résultats de ces analyses sont présentés au tableau XXX pour l'épreuve implication.

Tableau XXX

Coefficients standardisés de la fonction discriminante et corrélations canoniques entre les sous-tests de raisonnement scientifique et la fonction discriminante due à la variable implication

Sous-tests de raisonnement scientifique	Coefficient de la fonction discriminante	Corrélations canoniques avec la fonction discriminante
Identification du problème	-0,493	-0,656
Formulation d'hypothèse	-0,174	-0,325
Planification de l'expérimentation	-0,740	-0,825
Énonciation de la conclusion	-0,233	-0,043
Estimé de l'effet de la fonction discriminante	0,423	

On n'a pas à tenir compte du signe mathématique précédant chacun des coefficients, ceux-ci étant tous négatifs.

Les résultats de l'analyse discriminante et du calcul des corrélations canoniques confirment les données univariées obtenues pour chacun des sous-tests du raisonnement scientifique, les coefficients étant supérieurs à 0,30 (tableau XXX); cependant, seuls les sous-tests de l'identification du problème et de la planification de l'expérimentation sont en relation avec l'épreuve d'implication, le lien avec la planification de l'expérimentation étant particulièrement important (coefficients de 0,740 et 0,825). Bien que l'indice de corrélation entre le sous-test de la formulation d'hypothèse et la

fonction discriminante due à l'épreuve d'implication soit de 0,325, cette variable exprime de la redondance, ayant un poids discriminant inférieur à 0,30. La valeur de l'estimé de l'effet de la fonction discriminante, soit 0,423, confirme l'efficacité de la séparation des groupes de sujets selon la réussite de l'épreuve d'implication; cependant, la réussite de cette seule épreuve est moins efficace pour séparer les sujets selon leurs résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique que le stade global défini par la réussite de deux des trois épreuves formelles (voir tableau XXIII).

Des quatre hypothèses proposées concernant les relations plus particulières entre les sous-tests de raisonnement scientifique et les épreuves formelles, deux sont vérifiées; l'épreuve d'implication de la logique propositionnelle est reliée aux sous-tests de l'identification du problème et de la planification de l'expérimentation, tel que prévu; par contre, les épreuves de l'équilibre de la balance et de la quantification des probabilités ne semblent pas reliées aux sous-tests de raisonnement scientifique; l'épreuve combinatoire des permutations de jetons n'a pu être mise en relation avec le sous-test de la formulation d'hypothèse(s); de la même manière, l'épreuve d'implication n'est pas reliée au sous-test de la

formulation d'hypothèse(s), malgré une certaine relation démontrée par une corrélation canonique supérieure à 0,30 (tableau XXX) entre ce sous-test et la fonction discriminante due à l'épreuve d'implication. La figure 24 résume les résultats observés en regard des hypothèses posées.

Les résultats ne confirment donc pas l'hypothèse d'une interaction entre les variables retenues. Des variables indépendantes conservées après l'examen préliminaire des données, seul le stade opératoire, considéré lui-même, selon la théorie de Piaget, comme la résultante d'une interaction entre plusieurs facteurs, est apparu relié aux résultats de deux sous-tests de raisonnement scientifique: l'identification du problème et la planification de l'expérimentation. Une analyse plus poussée des données a finalement permis d'identifier l'implication comme étant la seule épreuve formelle expliquant les résultats à ces deux sous-tests de raisonnement scientifique.

Figure 24
 Résultats multivariés observés en regard
 des hypothèses de la recherche

Hypothèses de la recherche	Résultats multivariés observés
Effet d' interaction entre le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe sur les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique	pas d'effet d'interaction
Influence individuelle sur les résultats au test de raisonnement scientifique:	
-du stade opératoire	effet identifié pour les sous-tests <u>identification du problème</u> et <u>planification de l'expérimentation</u>
-de la fréquentation des cours de sciences	aucun effet
-de la maturation	aucun effet
-du sexe	aucun effet
Associations entre les épreuves formelles et les sous-tests de raisonnement scientifique:	
- la logique propositionnelle (<u>implication</u>) et l' <u>identification du problème</u>	association significative
-la structure combinatoire (<u>permutation de jetons</u>) et la <u>formulation d'hypothèse(s)</u> , la logique propositionnelle (<u>implication</u>) et la <u>formulation d'hypothèse(s)</u>	aucune association
- la logique propositionnelle (<u>implication</u>) et la <u>planification de l'expérimentation</u>	association significative
- le groupe I.N.R.C. (<u>équilibre de la balance</u> et <u>quantification des probabilités</u>) et l' <u>énonciation de la conclusion</u>	aucune association

3. Interprétation des résultats

Notre étude visait à déterminer l'influence d'un certain nombre de variables reliées au stade opératoire, à la fréquentation des cours de sciences et au sexe sur l'acquisition du raisonnement scientifique; cette section se propose de dégager les principales conclusions que l'on peut tirer à la suite de l'analyse des résultats obtenus en regard des interprétations théoriques présentées dans le premier chapitre. Le modèle théorique utilisé, la théorie opératoire de l'intelligence de Piaget, repose sur l'hypothèse que le développement des structures cognitives doit être considéré comme la résultante de l'interaction d'un certain nombre de facteurs. Il nous a permis de prédire l'existence de relations particulières entre les sous-tests de raisonnement scientifique et les structures de la pensée formelle. L'interprétation porte sur l'explication des résultats à partir du stade opératoire seulement, lui-même considéré comme la résultante d'un certain nombre d'interactions. Une seule épreuve formelle se révèle en relation avec certains sous-tests du test de raisonnement scientifique: il s'agit d'une épreuve de logique propositionnelle, l'implication. À la suite de la discussion des questions soulevées par les résultats obtenus et d'une analyse de l'impact que peut avoir cette

recherche sur la didactique des sciences, on explorera des avenues possibles de recherche. Il est nécessaire ici de rappeler que les critères utilisés, soit les différents niveaux des variables indépendantes, n'étaient pas décidés à priori comme il est possible de le faire en situation expérimentale, mais consistaient en situations observées. C'est pourquoi la proportion observée de sujets formels et de sujets en transition a été comparée aux données de recherches antérieures, en particulier aux données de l'étude Allaire-Dagenais (1983), réalisée dans un contexte semblable du point de vue des caractéristiques des sujets, des épreuves utilisées et des critères de correction de ces épreuves. La proportion relative de sujets formels retrouvée comporte en elle-même un intérêt et fait l'objet d'une discussion préliminaire.

3.1 Données observées chez les sujets de l'étude

Les résultats observés aux épreuves opératoires permettent de distinguer deux groupes de sujets, soit un groupe de sujets en transition de la pensée concrète vers la pensée formelle et un groupe de sujets ayant achevé la construction d'un certain nombre d'opérations formelles. En effet, d'une part, seulement une faible proportion de sujets se classe au stade opératoire concret (stade 1) à l'une ou l'autre épreuve (tableau X

p.106), sauf à l'épreuve d'implication où environ 30% de l'échantillon se situe encore à ce stade; d'autre part, aucun sujet de l'étude ne se classe au stade 1 à toutes les épreuves (appendice C). Le stade concret, qui se caractérise par l'absence de méthode systématique ou par des solutions de nature purement qualitative, est donc faiblement représenté chez les sujets de notre étude, dont l'âge varie de 16 ans et 2 mois à 17 ans et 7 mois; il aurait d'ailleurs été étonnant de retrouver un nombre important de sujets de cet âge à ce niveau de développement. Ces résultats contredisent toutefois les conclusions de Torkia-Lagacée (1981) qui classait comme opératoires concrets entre 29% et 63%, selon les épreuves, des sujets de niveau collégial 1 (16 à 23 ans) qu'elle avait examinés à l'aide d'épreuves de niveau de difficulté élevé. Le stade 2, qui marque la transition entre la pensée opératoire concrète et la pensée formelle, est caractérisé par la découverte de méthodes systématiques ou de solutions quantitatives; mais ces solutions ne sont pas généralisées aux problèmes les plus complexes. Près de la moitié de nos sujets peuvent être classés à ce stade. Le stade 3 se définit par la maîtrise de la pensée formelle, caractérisée par l'utilisation de méthodes systématiques. Il est à noter que 79% des sujets examinés ici (tableau XI p. 112) ont atteint ce stade à au moins l'une des épreuves, démontrant ainsi qu'au moins l'un des schèmes formels est

présent. Ces résultats sont semblables à ceux qu'ont observés un certain nombre de chercheurs (Lawson et al., 1975; Shayer et al, 1976; Désautels, 1978; Allaire-Dagenais, 1977 et 1983) qui ne retrouvent pratiquement plus de sujets opératoires concrets vers l'âge de 16 ans.

Les données de l'étude de validation (tableau V p. 80) comme celles de l'étude principale (tableau X p. 106) démontrent que le schème combinatoire est acquis avant les schèmes du groupe I.N.R.C., qui eux-mêmes précèdent ceux de la logique propositionnelle. Cet ordre d'accession est conforme à la théorie opératoire de Piaget qui décrit la structure combinatoire comme étant à l'origine du développement formel et la logique propositionnelle comme reposant à la fois sur la structure combinatoire et sur le groupe I.N.R.C. (Inhelder et Piaget, 1955); cet ordre d'accession est également conforme aux résultats de certaines recherches antérieures (Neimark, 1975; Allaire-Dagenais, 1983), mais non à ceux de Flexer (1980) dont les sujets accédaient à la logique propositionnelle avant d'accéder aux schèmes du groupe I.N.R.C. Nous avons obtenu une plus grande proportion de garçons formels (48%) que de filles formelles (29%), même après avoir rejeté l'épreuve des permutations de jetons dont les résultats chez les filles s'avéraient tout à fait incompatibles avec les

données observées antérieurement ainsi qu'avec les résultats observés aux autres épreuves opératoires. Certains chercheurs ont déjà retrouvé une semblable différence, par exemple Field et Cropley (1969), mais la très grande majorité des recherches ne démontrent pas de différences significatives entre garçons et filles, entre autres Tisher (1971), Torkia-Lagacée (1981) et Allaire-Dagenais (1983).

Les résultats au test de raisonnement scientifique (tableau XIII p. 117) démontrent que les sujets réussissent assez bien à utiliser les habiletés liées à ce raisonnement, les pourcentages de réussite aux sous-tests variant de 48% à 84%. En tenant compte du score minimal pouvant être obtenu, dans la forme à choix multiples, à chacun des sous-tests, on remarque que le sous-test le plus facile est l'énonciation de la conclusion et que les trois autres sous-tests, l'identification du problème, la formulation d'hypothèse et la planification de l'expérimentation, sont à peu près de même niveau de difficulté. Ceci correspond, toutes proportions gardées, aux données observées par Demers et Allaire (1987) avec la forme ouverte du même test où, cependant, le score minimal est de zéro pour chacun des sous-tests (tableau XIII p. 117). Le sous-test de l'énonciation de la conclusion mesure la capacité d'interpréter des résultats

expérimentaux en généralisant les relations trouvées, incluant la capacité d'inférer à l'aide d'interpolation et d'extrapolation. Livermore (1964) classait certaines de ces composantes, l'inférence et la prédiction, parmi les habiletés de base à exploiter dès le niveau primaire alors que la composante interprétation des données, comme d'ailleurs la capacité de formuler une hypothèse et de planifier une expérimentation, était classée parmi les habiletés plus complexes devant être proposées à la fin du primaire et au secondaire. Nos résultats apportent un appui à cette hiérarchisation des habiletés.

La fréquentation des cours de sciences ainsi que le stade opératoire des sujets sont en relation l'un avec l'autre. Dans l'ensemble, 74% des sujets ayant une fréquentation élevée des cours de sciences sont formels alors que seulement 38% des sujets ayant une faible fréquentation de ces cours sont formels (tableau XV p. 124). D'autres études confirment que la proportion de sujets formels est plus élevée dans les concentrations scientifiques que dans les autres concentrations (Pallrand et Moretti, 1980; Torkia-Lagacée, 1981). Peut-être faut-il y voir l'effet d'une pratique scolaire assez généralisée qui consiste à pousser vers les sciences les élèves qui réussissent le mieux. Le Conseil supérieur de l'éducation (1989) s'en

prend à la conception d'une hiérarchie des modes de connaissance qui est sous-jacente à cette pratique et qui, en favorisant le choix des sciences et des mathématiques, crée un profil que le Conseil surnomme «la voie royale»; il semble bien que ce soit les ordres d'enseignement supérieur, le collège et l'université, qui imposent d'ailleurs ce profil. Il est d'ailleurs intéressant de constater que le cours de biologie au secondaire (tableau IX p. 98) est beaucoup moins souvent choisi par les élèves que les cours de chimie et de physique, la biologie n'étant préalable à l'admission dans aucune concentration au collège alors que les cours de chimie et de physique sont des préalables à l'admission dans plusieurs concentrations. Les relations importantes trouvées entre la voie suivie en mathématiques, le stade opératoire et la fréquentation des cours de sciences nous ont conduit à ne retenir, pour vérifier nos hypothèses, que les sujets de la voie régulière en mathématiques, un groupe aux caractéristiques scolaires très semblables. L'élimination des sujets aux comportements très différenciés contribue à accentuer l'homogénéité du groupe conservé et à diminuer les possibilités d'observer des différences.

3.2 Vérification des hypothèses de la recherche

L'hypothèse principale de cette recherche, basée sur la théorie de Piaget, prévoyait que le niveau opératoire, la fréquentation des cours de sciences et la maturation des sujets exerçaient une influence conjointe sur l'acquisition du raisonnement scientifique. L'étude préliminaire des résultats ayant démontré d'une part l'absence de relation entre les résultats observés au test de raisonnement scientifique et la maturation des sujets (mesurée par l'écart entre l'âge des sujets au début et à la fin de la cinquième secondaire) et, d'autre part, l'existence d'une relation entre certains résultats observés et le sexe des sujets, l'hypothèse soumise à la vérification statistique a été celle d'une influence conjointe du niveau formel, de la fréquentation des cours de sciences et du sexe des sujets sur les résultats au test de raisonnement scientifique. La méthode d'analyse choisie, l'analyse multivariée, est de type descriptif; elle permet d'explorer les relations entre les diverses variables et d'identifier ainsi les facteurs responsables des résultats observés aux variables dépendantes, dans le contexte précis de la situation qui a été étudiée. Par les éclairages qu'elles apportent, ces analyses permettent aussi de proposer de nouvelles hypothèses susceptibles de mieux expliquer les résultats observés. C'est

dans ce contexte exploratoire que sont présentées nos interprétations. Il est évident que la généralisation des conclusions auxquelles on peut aboutir comporte des limites dues au type d'échantillon retenu. Les résultats des analyses multivariées (tableau XXI p. 155) n'apportent aucun appui à l'hypothèse d'une interaction entre les variables stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe pour expliquer les résultats observés au test de raisonnement scientifique. Une seule variable, le stade opératoire des sujets, s'avère reliée de manière significative aux résultats observés à l'ensemble du test de raisonnement scientifique. Les autres variables étudiées, soit l'expérience reliée aux cours de sciences, la maturation (écartée dès l'étude préliminaire car n'étant pas en relation avec les variables dépendantes) et le sexe des sujets, n'ont eu aucun effet significatif sur ces résultats. Selon la théorie piagétienne, le stade opératoire est la résultante de trois facteurs principaux, soit l'expérience reliée au monde physique, la maturation et les interactions sociales. Le stade opératoire peut donc être considéré comme un mode de fonctionnement résultant en partie des acquis et des expériences. Paradoxalement, seul le niveau opératoire expliquerait ici la réussite d'habiletés dont le développement est visé comme un objectif par les cours de sciences. Ainsi donc, les cours de sciences fourniraient aux sujets qui

ont déjà atteint le stade opératoire formel l'occasion d'une plus grande mobilité, d'une actualisation ou d'une généralisation de leur mode de fonctionnement. Pour les sujets en transition, l'expérience des cours de sciences serait cependant un facteur supplémentaire susceptible, selon la théorie piagétienne, d'avoir un impact à plus long terme, cette expérience relativement spécifique pouvant provoquer un déséquilibre cognitif chez ces sujets et les amener à un niveau de fonctionnement plus avancé. Notre étude n'a cependant pas permis de mettre en évidence cet impact éventuel des expériences récentes et du niveau de maturation. L'absence d'influence du facteur maturation n'est cependant pas si étonnante, la maturation neurologique étant pratiquement achevée vers 16 ou 17 ans et un écart de six mois ne signifiant sans doute plus grand chose à cet âge. Cet écart nous paraissait toutefois susceptible de renforcer l'impact des cours de sciences, les sujets plus vieux ayant eu une exposition plus longue à ces cours. Comme on n'a pu mettre en évidence aucun effet des cours de sciences sur les résultats au test de raisonnement scientifique, il nous faut rejeter l'hypothèse intégrationniste voulant que ce facteur seul soit responsable de l'acquisition du raisonnement scientifique. Nos données complètent celles de Thibert (1980) de l'équipe Evalensci qui concluait que les cours de sciences ne contribuent pas à développer une attitude

scientifique; ce chercheur n'observait en effet aucune différence, que les sujets aient suivi un seul cours de sciences ou qu'ils en aient suivi plusieurs, ou même qu'ils aient suivi des cours de niveau plus avancé; mentionnons que l'attitude scientifique mesurée par son test comportait à la fois des composantes intellectuelles et émotionnelles. Seule l'hypothèse piagétienne reçoit donc ici un appui, le stade opératoire étant en relation avec les résultats au test de raisonnement scientifique; ceci nous permet maintenant de décrire le comportement scolaire des sujets de cinquième secondaire, selon qu'ils ont atteint le stade formel ou selon qu'ils sont encore en transition vers le stade formel.

Ainsi, le sujet formel de cinquième secondaire choisit de suivre des cours de sciences spécifiques à ce niveau, c'est-à-dire exigeant la réussite du cours préalable de quatrième secondaire; il le fait probablement parce que la réussite de ces cours préalables exigeait déjà le niveau formel, selon les résultats observés par Torkia-Lagacée (1981). Ce sujet est toutefois déjà capable des habiletés scientifiques que les cours de sciences visent à développer; il semble aussi que c'est principalement le fait d'être déjà formel qui le rend capable d'utiliser ces habiletés et non les occasions plus ou moins nombreuses qu'il a eues de les exercer. Ainsi, Braun (1978), à la

suite d'une étude portant sur des sujets de troisième secondaire prévoyant suivre des cours de sciences, concluait déjà que ces sujets manifestent les caractéristiques du stade formel avant même de commencer l'étude systématique des matières scientifiques. Ce portrait doit toutefois être nuancé par l'étude des scores observés chez les huit groupes de sujets répartis selon les différentes combinaisons entre les variables étudiées, soit le stade opératoire, la fréquentation des cours de sciences et le sexe des sujets. La figure 23 (p. 169) permet de mieux voir comment les groupes se distribuent et de mieux comprendre l'impact des différentes variables. Ainsi, elle confirme que le stade opératoire est la seule variable qui permet de distinguer les résultats au test de raisonnement scientifique, les quatre groupes de sujets formels obtenant des scores supérieurs aux quatre groupes de sujets en transition. Par contre, l'expérience des cours de sciences n'est pas en relation avec les résultats au test de raisonnement scientifique, les groupes à fréquentation faible ou élevée obtenant des scores assez également répartis le long de la fonction discriminante.

Le sexe des sujets, quoique n'étant pas en relation significative (avec une probabilité de 0,090 aux analyses multivariées), contribue cependant à

nuancer quelque peu les résultats. En effet, la figure 23 permet d'observer que ce sont les deux groupes de filles formelles qui obtiennent les scores les plus élevés alors que les scores les plus faibles appartiennent aux garçons en transition vers la pensée formelle. Dans tous les groupes formés par les différentes variables, les filles obtiennent des scores supérieurs à ceux des garçons des groupes équivalents. Il faut remarquer en particulier la performance des filles en transition ayant une fréquentation élevée des cours de sciences, qui réussissent aussi bien que les garçons formels. Les filles sembleraient mieux adaptées au contexte scolaire: elles font des choix plus pertinents et réussissent mieux. En transition vers la pensée formelle, elles s'abstiennent majoritairement de choisir beaucoup de cours de sciences; en effet, seulement 30% des filles en transition ont une fréquentation élevée des cours de sciences; mais celles qui ont une fréquentation élevée réussissent aussi bien que les garçons formels, tirant profit, semble-t-il, des cours suivis. Formelles, elles fréquentent majoritairement les cours de sciences (84% d'entre elles) et réussissent mieux que les groupes de garçons correspondants. Par contre, les choix des garçons du point de vue de la fréquentation des cours de sciences correspondent moins clairement à leurs possibilités, les pourcentages de garçons formels et de garçons en transition qui suivent les

cours de sciences se différenciant moins que ce n'est le cas pour les filles; en effet, 68% des garçons formels et 47% des garçons en transition ont une fréquentation élevée des cours de sciences. Le sexe des sujets s'avère donc une variable importante pour nuancer les résultats.

L'impact des cours de sciences est par ailleurs pratiquement inexistant à l'intérieur des groupes de sujets formels regroupés selon le sexe; les garçons formels obtiennent à peu près le même score, qu'ils fréquentent peu ou beaucoup les cours de sciences; il en est de même pour les filles formelles. L'impact est plus nuancé, cependant, chez les sujets en transition, les garçons et les filles ayant une fréquentation plus élevée obtenant un meilleur score que ceux qui ont une fréquentation faible de ces cours. Ceci tend à indiquer que les cours de sciences constitueraient un facteur susceptible d'avoir une influence à plus long terme chez les sujets en transition, alors que cette expérience spécifique n'apporterait à elle seule rien de plus à des sujets très avancés dans la construction de la pensée formelle (au moins deux épreuves sur trois au stade formel). Telle que mesurée dans notre étude par la fréquentation des cours de sciences, l'expérience scientifique des sujets ne permet donc pas d'expliquer l'acquisition du raisonnement scientifique chez l'ensemble des sujets.

L'hypothèse intégrationniste qui prédisait que l'acquisition du raisonnement scientifique ne se faisait qu'en fonction de l'expérience scientifique ne reçoit donc ici aucun appui, en autant que l'on considère les cours de sciences suivis comme représentant une partie importante de l'expérience scientifique des sujets. Les résultats contredisent également Halford (1978a, 1978b) selon qui l'hypothèse intégrationniste expliquant l'apprentissage à partir du seul facteur de l'expérience spécifique ne serait valable que chez des sujets déjà en possession d'une structure cognitive préalable, soit ici les seuls sujets formels; en effet, chez les sujets formels, il n'y a pratiquement pas de différence de rendement au test de raisonnement scientifique entre les groupes à fréquentation faible et les groupes à fréquentation élevée des cours de sciences alors qu'il y a un certain écart entre les sujets en transition qui suivent plusieurs cours et les sujets en transition qui en suivent peu, résultats tout à fait opposés aux conclusions d'Halford (1978a, 1978b). L'hypothèse piagétienne reçoit donc un appui important de cet ensemble de résultats et s'avère une hypothèse explicative qui semble particulièrement pertinente.

Les cours de sciences poursuivent comme objectif le développement des habiletés reliées au raisonnement scientifique. Comment expliquer des

résultats à peu près semblables chez les sujets qui suivent peu de cours de sciences et chez les sujets qui en suivent beaucoup? Peut-être suffit-il de suivre un cours de sciences, en quatrième ou en cinquième secondaire, ce qu'ont fait tous les sujets de la voie régulière en mathématiques, pour acquérir les habiletés scientifiques, cette expérience étant suffisante pour en permettre l'apprentissage. Peut-être ces cours sont-ils en pratique très peu axés sur le développement de ces habiletés, comme le suggèrent plusieurs études, en particulier celle de Trempe (1984). Nous n'avons pas procédé à une étude des méthodes utilisées par les enseignants de sciences de l'école où a eu lieu la recherche. Le type d'apprentissage réalisé durant ces cours ne semble pas favoriser le développement d'habiletés spécifiques reliées au raisonnement scientifique. Pourtant, selon certaines études, l'enseignement des sciences influencerait l'acquisition des habiletés de base du processus scientifique; mais, comme on l'a vu ici, les habiletés plus globales ne semblent pas bénéficier de l'enseignement actuel des sciences. Il y aurait donc lieu de s'interroger sur les méthodes actuelles d'enseignement des sciences, puisqu'elles ne semblent pas permettre l'atteinte d'objectifs visant l'acquisition des habiletés exigées par le raisonnement scientifique. Piaget (1972) signale: « (...) *une expérience qu'on ne fait pas soi-même avec toute liberté d'initiative n'est, par*

définition, plus une expérience, mais un simple dressage sans valeur formatrice faute de compréhension suffisante du détail des démarches successives.» (p.24).

Les méthodes multivariées ont aussi permis d'identifier à quels sous-tests de raisonnement scientifique diffèrent les groupes formés par le stade opératoire. Les résultats des groupes de sujets en transition et des groupes de sujets formels sont différents à deux sous-tests, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation. On se rappellera que ce sont ces deux sous-tests qui ont le meilleur pouvoir de discrimination, l'étendue de leurs résultats étant plus grande (de 28% à 100% et de 0% à 77% respectivement) que celle des résultats aux deux autres sous-tests, la formulation d'hypothèse et l'énonciation de la conclusion (résultats pouvant varier de 50% à 100%). L'identification du problème suppose la capacité de cerner le malaise rencontré et de le formuler; c'est une habileté qui demande de s'en tenir rigoureusement aux faits exposés. La planification de l'expérimentation est également proche des faits; le sujet doit prévoir le déroulement de l'expérience, le matériel, les mesures à prendre et les variables à contrôler. Les deux sous-tests qui ont le moins bien discriminé les résultats, la formulation d'hypothèse et l'énonciation de

la conclusion, présentent aussi des ressemblances. Leurs critères de correction sont semblables (tableau V p. 80); dans les deux cas, le sujet doit identifier les variables indépendante et dépendante et établir la relation entre elles. Il y a lieu de se rappeler que la formulation d'hypothèse est le sous-test qui a obtenu les indices de fidélité et de discrimination les plus faibles du test (Demers et Allaire, 1987). D'autre part, l'énonciation de la conclusion est en corrélation très faible (et négative) avec les autres sous-tests du test de raisonnement scientifique (appendice D); c'est aussi le sous-test le plus facile (tableau XII p. 116). En résumé, les deux sous-tests de raisonnement scientifique qui ont le meilleur pouvoir de discrimination sont ceux qui sont les plus proches des faits concrets et qui demandent le plus de rigueur, d'organisation et de cohérence; ceci nous suggère de les mettre en parallèle avec la caractéristique la plus générale du stade opératoire formel, l'utilisation de méthodes systématiques. Par contraste, les deux autres sous-tests demandent d'imaginer des solutions, de dépasser les faits, d'extrapoler, mais n'exigent pas de faire de démonstration; l'intuition caractérise ces deux sous-tests; et c'est également ce qui caractérise les sujets en transition vers la pensée formelle, qui démontrent une «*facilité perceptive*» (Piaget et Inhelder, 1951) qui leur permet de découvrir des méthodes, mais non de les

appliquer systématiquement. Ce qui semble discriminer le mieux les sujets formels des sujets en transition, c'est donc l'aspect le plus systématique du raisonnement scientifique.

On s'en souviendra, les résultats au sous-test de l'identification du problème chez nos sujets ne se distribuaient pas normalement (figure 10 p.145), comme le veut l'un des préalables à l'utilisation des techniques multivariées; la distribution des scores y était très asymétrique. La figure 16 (p. 162) illustre la distribution des scores selon le stade opératoire des sujets et permet de constater que ce sont les sujets formels qui sont responsables de cette allure anormale, une forte majorité d'entre eux obtenant le score maximal. Ceci n'invalide pas les résultats mais confirme au contraire la tendance observée, le sous-test ne permettant pas de distinguer les sujets formels entre eux mais discriminant nettement les sujets formels des sujets en transition. D'après les figures 14 et 15 (pp. 160 et 161), les sujets en transition n'identifient pas correctement le problème et le formulent de façon beaucoup trop spécifique en proposant déjà des hypothèses de solution; ces sujets semblent incapables de procéder systématiquement, étape par étape. Par contre, les sujets formels manifestent fréquemment ces deux types de comportements, c'est-à-dire

qu'ils ont majoritairement identifié le malaise dans les énoncés et qu'ils ont aussi énoncé les problèmes sous forme générale. C'est ce qui explique l'allure asymétrique de la distribution. Les deux critères retenus pour mesurer l'identification du problème répartissent les sujets en deux catégories et renforcent la valeur discriminante du sous-test.

Les résultats des sujets formels et ceux des sujets en transition diffèrent également au sous-test de la planification de l'expérimentation. Les figures 17 à 21 (pp. 163 à 167) illustrent les scores des deux groupes de sujets aux opérations sous-jacentes de ce sous-test. Les sujets en transition vers la pensée formelle obtiennent presque les mêmes résultats que les sujets formels aux opérations de l'énumération du matériel, de la mesure de la variable indépendante et de la variable dépendante. Il est à remarquer qu'au critère de la mesure de la variable indépendante, presque tous les sujets, formels ou non, ont obtenu le score maximal; il s'agit vraisemblablement d'une opération peu exigeante en termes de préalables cognitifs. Les scores des sujets formels sont cependant légèrement supérieurs aux critères de la mention des variables contrôles et de la schématisation du déroulement de l'expérience. Inhelder et Piaget (1955) réservent le contrôle des variables au stade opératoire formel

lorsque, comme c'est le cas dans ce sous-test, plusieurs variables sont en jeu; seul un sujet formel serait capable de tenir tous les facteurs constants sauf un. Or, les sujets en transition semblent capables de contrôler des variables, même si c'est de manière un peu moins assurée que les sujets formels; certains sujets en transition obtiennent d'ailleurs un score aussi élevé que les meilleurs sujets formels au contrôle des variables. Cependant, il y a également une autre différence en faveur des sujets formels au critère de la schématisation du déroulement de l'expérience. Mais encore ici, certains sujets en transition paraissent capables de mettre en oeuvre des méthodes systématiques. La figure 22 (p. 168) illustre clairement que les scores au sous-test de la planification de l'expérimentation des sujets des groupes en transition et des sujets formels se situent sur un continuum et qu'il n'y a pas de coupure nette entre ces deux groupes; globalement, les résultats sont significativement différents mais les différences sont moins faciles à identifier que dans le cas du sous-test de l'identification du problème, dans lequel certaines opérations semblaient presque inaccessibles aux sujets en transition. L'habileté à planifier une expérience, tout en étant significativement reliée au stade de pensée du sujet, semble également dépendre d'autres facteurs; on peut faire l'hypothèse que le facteur d'expérience au sens piagétien du terme

joue davantage dans le cas de cette habileté, étant donné que la plupart des opérations sous-jacentes semblent accessibles dès que le sujet est en transition vers le stade formel, ce qui n'est pas le cas pour l'habileté à identifier un problème. On peut aussi considérer comme normal que des sujets en transition, c'est-à-dire ayant amorcé la construction de la pensée opératoire formelle, soient, dans certains domaines, capables de comportements formels.

Le stade opératoire se révélant la seule variable qui a un impact sur les résultats au test de raisonnement scientifique, nous avons vérifié les liens suggérés par l'étude théorique du raisonnement scientifique basée sur le modèle piagétien entre les divers sous-tests de raisonnement scientifique et les épreuves représentant les structures formelles. Une seule structure de la pensée formelle, la logique propositionnelle représentée par l'épreuve d'implication, s'est retrouvée en lien avec deux sous-tests de raisonnement scientifique, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation, confirmant deux des hypothèses avancées. Par contre, le lien suggéré entre la structure combinatoire et la formulation d'hypothèse n'a pu être vérifié, l'examen préliminaire des données nous ayant conduit à rejeter l'épreuve des permutations de jetons.

ses résultats se révélant incohérents et incompatibles avec les études antérieures; les résultats n'ont pas confirmé non plus le lien prévu entre la logique propositionnelle et la formulation d'hypothèse(s), quoique ce sous-test ait obtenu une corrélation canonique supérieure à 0,30 avec la fonction discriminante due à l'épreuve d'implication, démontrant ainsi un certain lien entre le sous-test et l'épreuve de logique propositionnelle. Quant au lien supposé entre les épreuves du groupe I.N.R.C. et l'énonciation de la conclusion, il se trouve infirmé par les résultats. Notons enfin le seuil de probabilité plus bas observé à l'analyse multivariée concernant l'ensemble de la pensée opératoire ($p=0,004$) que celui observé à l'épreuve d'implication seule ($p=0,050$), de même que le seuil faible, quoique non significatif, observé à l'épreuve d'équilibre de la balance ($p=0,089$); il semble bien que les épreuves formelles autres que l'implication, en particulier l'équilibre de la balance, entretiennent quelque relation avec les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique.

L'épreuve d'implication s'est révélée la plus difficile des épreuves formelles; on y retrouve environ 30% de sujets au stade opératoire concret, environ 30% de sujets en transition vers la pensée formelle et près de 40% de sujets au stade formel (tableau X p. 106). Aux autres épreuves, il n'y a

pratiquement pas de sujets au stade concret et près de 50% des sujets se situent au stade formel. La réussite de l'épreuve d'implication demande de reconnaître l'implication, d'inférer, c'est-à-dire de situer la proposition dans l'ensemble des possibles et de décider de sa compatibilité avec les combinaisons possibles; on y voit donc des opérations relevant à la fois de la structure combinatoire et du groupe I.N.R.C. Les sujets opératoires concrets n'ont réussi que les inférences déterminées alors que les sujets en transition vers la pensée formelle ont été capables de résoudre les inférences indéterminées; enfin, ce qui caractérise aussi les sujets formels, c'est la réussite de la vérification (identification du cas qui contredirait la règle); les sujets formels sont capables de situer l'implication dans l'ensemble des combinaisons possibles et de décider de sa compatibilité avec chacune de ces combinaisons. Les sujets qui ont réussi les inférences (déterminées ou indéterminées) mais non la vérification de l'implication ont aussi été incapables d'identifier de manière précise le malaise dans un énoncé problématique, n'ont pu identifier clairement le problème ni le formuler de manière générale (sous-test de l'identification du problème). De la même manière, ces sujets ont moins bien réussi les diverses opérations sous-jacentes à la planification d'une expérience; en particulier, ils contrôlent moins de variables, ne dissocient pas bien les facteurs et

proposent une démarche moins cohérente. Les sujets formels capables de vérification, donc capables de reconnaître le cas parmi plusieurs qui contredirait la règle d'implication, identifient clairement le problème et planifient mieux une expérimentation, dans l'ensemble. L'épreuve de logique propositionnelle, tout en étant plus difficile que les autres épreuves, semble donc plus fondamentale, moins typée ou particulière que les épreuves du groupe I.N.R.C. et de la structure combinatoire. Inhelder et Piaget (1955) font d'ailleurs état des schèmes combinatoires et des schèmes de proportionnalité, comme s'il s'agissait d'épreuves plus spécialisées, alors qu'ils décrivent la logique propositionnelle comme un système d'opérations sous-jacentes aux diverses manifestations de la pensée opératoire formelle. Cette épreuve s'éloigne donc des schèmes particuliers et se définit davantage en termes d'habiletés globales. Longeot (1969) conclut que le raisonnement hypothético-déductif sur des énoncés interpropositionnels est un moyen plus sûr de différencier les enfants sous l'aspect de l'efficacité intellectuelle. Torkia-Lagacée (1981) conclut également que c'est la logique propositionnelle, représentée par son test énigme, qui est la structure formelle la plus reliée à la réussite scolaire; ses données portaient sur les exigences de réussite d'une douzaine de cours du secondaire, de mathématiques et de sciences en particulier. Par contre,

dans l'étude de Padilla et al. (1983) sur des sujets d'une plus grande étendue d'âge, c'est avec le groupe I.N.R.C. que les habiletés scientifiques entretiennent le plus de liens (tableau IV p. 47) alors que l'habileté la moins reliée aux scores formels est l'expérimentation: ces résultats diffèrent évidemment de ceux qu'on a pu observer ici. Rappelons toutefois que les résultats de Padilla et al. (1983) ont été obtenus avec des instruments très différents des nôtres: il s'agissait d'un test portant sur des habiletés scientifiques définies d'après Livermore (1964) et faisant appel à des connaissances scientifiques générales, ainsi que d'épreuves formelles de type papier-crayon.

Rappelons finalement qu'on n'a pu observer de relation significative entre deux des structures de la pensée formelle et les résultats au test de raisonnement scientifique. Dans le cas de l'épreuve des permutations de jetons représentant la structure combinatoire, l'âge d'accession était largement dépassé et les résultats incohérents. Shayer et al., dans une recherche publiée en 1981, avaient également dû rejeter l'épreuve combinatoire; Longeot (1969) concluait également à l'absence de généralité de la combinatoire elle-même. Par ailleurs, les épreuves I.N.R.C. semblent pourtant être en relation avec des contenus scolaires. Par exemple, de la

première à la cinquième année du secondaire, les programmes de mathématiques comportent une partie de statistiques; l'élève y étudie des phénomènes où intervient le hasard (probabilité d'événements); et il semble que l'épreuve de l'équilibre de la balance soit malgré tout plus reliée aux résultats ($p=0,089$) que l'épreuve de la quantification des probabilités ($p=0,293$); dans l'épreuve de l'équilibre de la balance, il y a à la fois une composante spatiale et une composante de déduction logique, le sujet voyant après coup l'effet provoqué par le choix de la masse ou de la distance auquel il a procédé. Ce qui distingue les sujets formels des sujets en transition à ces deux épreuves, c'est d'être capables de solutions quantitatives, peu importe la complexité des proportions en jeu. Mais ceci ne les distingue pas du point de vue de l'habileté à conclure puisque ces épreuves ne sont pas reliées au sous-test de l'énonciation de la conclusion, ainsi que le prévoyait l'une des hypothèses de la recherche, comme si cette habileté n'exigeait pas la maîtrise complète de la pensée formelle, puisque les résultats à ce sous-test étaient passablement élevés, d'une part, et puisque, d'autre part, les sujets en transition se comportaient de la même manière que les sujets formels.

3.3 Interprétation d'ensemble

Il semble, d'après nos résultats, que certaines des habiletés reliées au raisonnement scientifique comme formuler des hypothèses et énoncer des conclusions puissent se développer et s'exercer sans que le développement des structures opératoires formelles soit complètement achevé. Par contre, il semble bien que pour être en mesure d'identifier un problème, un sujet doive avoir achevé la construction de la logique propositionnelle; le niveau formel constitue en effet un préalable pour réussir chacune des opérations sous-jacentes à cette habileté, les sujets encore en transition se révélant incapables de ces opérations; le sous-test de l'identification du problème possède à cet égard un pouvoir de discrimination assez évident. Pour formuler des hypothèses, cependant, il ne semble pas nécessaire d'être formel; l'une des opérations sous-jacentes à la capacité de formuler des hypothèses est l'identification des variables, qui semble accessible aux sujets en transition (figures 18 et 19, pp. 164 et 165); le sous-test de la formulation d'hypothèse est de fait la partie la plus faible du test de raisonnement scientifique, mais il est tout de même en lien avec l'ensemble du test comme le montraient déjà les différents indices retrouvés à l'analyse d'items (Demers et Allaire, 1987) et comme le révèle

aussi un certain recouvrement exprimé par une corrélation canonique supérieure à 0,30 avec la fonction discriminante due à l'épreuve d'implication (tableau XXX p. 178). De la même manière, il ne semble pas qu'il soit nécessaire d'avoir achevé la construction de la pensée formelle pour être capable de tirer des conclusions; le sous-test de l'énonciation de la conclusion mesure plusieurs comportements, entre autres l'inférence et la généralisation, dont la plupart sont possibles avant la fin de la construction de la pensée formelle; on peut le voir d'une part par les scores élevés observés à ce sous-test (tableau XII p. 116) et d'autre part par l'absence d'un effet du stade opératoire sur les résultats, les sujets en transition réussissant aussi bien que les sujets formels. Cependant, il est nécessaire d'avoir achevé la construction de la pensée formelle (au moins deux épreuves sur trois réussies au stade formel) pour planifier une expérimentation; certes, le sujet en transition est capable de la plupart des opérations sous-jacentes à cette planification, mais il performe moins bien, de manière statistiquement significative, que le sujet formel; il s'agit vraisemblablement d'une habileté qui se généralise progressivement à partir de l'accès à certains schèmes formels. Les relations supposées entre certaines habiletés scientifiques et un niveau donné de pensée opératoire, suggérées à la figure 4 (p. 40), ne sont donc pas toutes confirmées par nos

résultats; certaines habiletés nécessaires au raisonnement scientifique sont accessibles dès que la transition vers la pensée formelle est amorcée, alors que certaines autres habiletés ne semblent pouvoir émerger que lorsque les schèmes formels sont entièrement construits. Nos résultats ne nous permettent cependant pas de tirer des conclusions à propos des relations entre le raisonnement scientifique et l'atteinte du stade concret. Quant au test de raisonnement scientifique utilisé, il semble au total un test valable, mesurant des habiletés précises.

3.4 Nouvelles avenues de recherche

Dans l'ensemble, les indices observés suggèrent l'existence de relations particulières entre la pensée formelle et le raisonnement scientifique. La théorie de Piaget reçoit ici un appui clair et paraît pertinente pour ce qui est de la poursuite d'études sur le raisonnement scientifique, alors que la théorie des intégrationnistes basée sur l'expérience spécifique préalable seule, ne contribue aucunement à expliquer les résultats observés. Des sujets d'autres groupes d'âges devraient faire l'objet d'une étude semblable à celle que nous avons réalisée afin de vérifier la possibilité de proposer un ordre d'acquisition

des habiletés du raisonnement scientifique basé sur l'ordre d'accession aux stades de la pensée formelle. Une telle étude permettrait aussi de vérifier le niveau précis de pensée opératoire préalable à chacune des habiletés, de même qu'aux opérations sous-jacentes à ces habiletés, ce que notre étude n'avait pas comme objectif et n'a pu réaliser, étant donné l'absence de sujets opératoires concrets dans l'échantillon retenu. Cette hiérarchisation permettrait de proposer une séquence d'habiletés à développer chez les élèves dans les différents programmes d'étude.

Les résultats multivariés, en particulier le calcul de la fonction discriminante, semblent indiquer un certain effet des cours de sciences suivis chez les sujets en transition; il serait intéressant de pousser plus loin la vérification de cette hypothèse, en particulier par une expérience d'apprentissage. Pour choisir de fréquenter des cours de sciences et pour les réussir, il semble en effet nécessaire d'être formels; les cours permettent alors aux sujets d'exercer des capacités déjà présentes, les sujets formels qui font peu de sciences réussissant mieux les sous-tests de raisonnement scientifique que les sujets en transition qui en font. Quant aux cours de sciences donnés aux sujets en transition, ils devraient être conçus comme des occasions d'expérience qui, à plus ou moins long terme,

pourraient déclencher le processus de rééquilibration et peut-être conduire ces sujets vers des niveaux de pensée plus avancés. Toutefois ces sujets rencontreront vraisemblablement l'échec (Torkia-Lagacée, 1981); on connaît les expériences d'apprentissage par conflit cognitif, mais certaines expériences impliquant des échecs scolaires répétés, on peut supposer que ces expériences négatives peuvent difficilement induire le processus de rééquilibration.

Une des conclusions de Torkia-Lagacée (1981) portait sur le fait que les élèves du secondaire n'ont pas un environnement de qualité suffisante pour permettre le développement intellectuel de la majorité d'entre eux. Les occasions de développement sont peut-être prévues dans les programmes scolaires, mais ces programmes sont dispensés dans des conditions telles qu'ils ne peuvent produire le changement souhaité. De surcroît, le rôle qu'on fait jouer en pratique aux cours de sciences à titre de préalables à divers programmes du collège rend la situation encore plus difficile car ces cours ne semblent servir qu'à identifier les sujets formels. On devrait peut-être plutôt inciter tous les adolescents à suivre davantage de cours de sciences: d'une part, les habiletés de raisonnement scientifique sont bien reliées entre elles et, d'après les résultats de cette recherche,

reliées à la pensée formelle; d'autre part, les cours de sciences ont par essence un souci de développement logique et il est possible d'imaginer des programmes de développement de la pensée formelle à l'intérieur de ces cours; ceci est également le cas pour les autres disciplines qui font l'objet d'enseignement, mais les cours de sciences semblent particulièrement pertinents pour ce faire. À cet égard, il est intéressant de noter le commentaire de Piaget (1972) sur la réussite des cours de sciences, à l'effet que l'insuccès scolaire «*tienne à un passage trop rapide de la structure qualitative des problèmes (par simples raisonnements logiques, mais sans introduction immédiate des relations numériques et des lois métriques) à la mise en forme quantitative ou mathématique (au sens des équations déjà élaborées) utilisée normalement par le physicien.*» (p. 19).

Enfin, les résultats observés révèlent que les comportements scolaires des filles et des garçons sont très différents, les filles réussissant mieux que les garçons, faisant des choix plus sûrs et tirant davantage partie du système scolaire. Et ces différences de comportement se manifestent ici dans un domaine où on ne s'attendait pas à les observer, soit dans le domaine de l'enseignement scientifique. Le problème maintes

fois soulevé de la difficulté de diriger les filles vers les cours de sciences se présente dès lors sous un jour différent; au secondaire, les filles formelles ont presque toutes une fréquentation élevée des cours de sciences; les filles en transition s'abstiennent de suivre ces cours, qu'elles ne réussiraient d'ailleurs pas, d'après Torkia-Lagacée (1981). Les garçons en transition fréquentent davantage les cours de sciences qu'ils ne réussissent probablement pas (Torkia-Lagacée, 1981); mais, à long terme, ils y trouvent peut-être des occasions de développement; et on peut supposer que c'est là que les filles peuvent y perdre. Il y aurait donc lieu d'appuyer certaines initiatives récentes visant à changer la perception très négative qu'ont les filles de l'échec, réel ou présumé, et les incitant à poursuivre leurs études même dans les secteurs où elles rencontrent des difficultés. Les filles posent également des problèmes au niveau de la mesure: elles réagissent en effet différemment aux épreuves, en particulier lorsque l'âge d'accession est dépassé; elles donnent alors l'impression de régresser. Il serait intéressant de procéder à une étude poussée des courbes de développement cognitif des sujets des deux sexes; cette étude permettrait peut-être d'expliquer des résultats en apparence contradictoires; en effet, d'une part, les filles obtiennent généralement de meilleurs résultats scolaires et ceux-ci semblent être en lien avec le niveau de développement

opératoire; d'autre part, dans certaines études, rares il est vrai, il y a une moins grande proportion de filles formelles que de garçons formels. On peut faire l'hypothèse que cette situation se retrouve à certains âges particuliers et correspond à des phénomènes de régression. Les résultats d'une recherche de Allaire-Dagenais (1983) dans laquelle filles et garçons se situent au même stade de développement au début et à la fin de l'adolescence, malgré des courbes de développement apparemment différentes dans l'ensemble, fournissent des indices en ce sens.

Enfin, il y aurait lieu de revoir le sous-test formulation d'hypothèse, qui présente certains problèmes de mesure, à partir des composantes formulées par Moshman et Thompson (1981) (figure 3 p. 38).

Résumé et conclusions

Cette recherche visait à vérifier l'effet du stade opératoire, de l'expérience scientifique et de la maturation des sujets, de même que l'effet des interactions éventuelles entre ces facteurs, sur l'acquisition des habiletés définissant le raisonnement scientifique. La recherche visait également à vérifier l'existence de relations particulières entre les habiletés de raisonnement scientifique prises une à une et les structures de base de la pensée formelle. Les hypothèses retenues étaient basées sur les travaux d'Inhelder et de Piaget (1955) expliquant le développement cognitif par la contribution de facteurs interagissant pour permettre le passage d'un stade de pensée à un autre, et elles tenaient compte des caractéristiques propres à chaque étape du raisonnement scientifique.

Quatre épreuves formelles, l'équilibre de la balance, la quantification des probabilités, les permutations de jetons et l'implication, de même qu'un test formé de quatre sous-tests correspondant aux différentes étapes du raisonnement scientifique, l'identification du problème, la formulation d'hypothèses, la planification de l'expérimentation et l'énonciation de la conclusion, ont été administrés à 124 sujets francophones de cinquième

secondaire de la région montréalaise.

L'étude préliminaire des données conduit à la formation de deux groupes à peu près égaux de sujets, le premier constitué de sujets formels et le deuxième de sujets en transition vers la pensée formelle. Les sujets formels ont une fréquentation plus grande des cours de sciences. Les résultats au test de raisonnement scientifique démontrent qu'en moyenne, les sujets ont assez bien réussi les divers sous-tests mesurant les habiletés scientifiques, en particulier le sous-test de l'énonciation de la conclusion.

À la suite de l'étude préliminaire des données, des analyses multivariées ont été effectuées sur les facteurs stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe, avec le sous-groupe de sujets de la voie régulière en mathématiques. L'épreuve des permutations de jetons n'a pas été retenue lors de ces analyses. Les résultats indiquent qu'il existe une relation significative entre deux habiletés scientifiques, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation, et le stade opératoire des sujets; les autres facteurs étudiés, soit la fréquentation des cours de sciences et le sexe des sujets, n'ont pas d'effet sur les résultats; de même, on n'a pas observé entre ces variables d'effet

d'interaction ayant un impact sur les résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique. La relation trouvée avec la pensée formelle est due à la logique propositionnelle de la pensée formelle et non à la structure combinatoire ou au groupe I.N.R.C. Les analyses univariées ainsi que le calcul de fonctions discriminantes confirment que seuls les sous-tests de raisonnement scientifique les plus proches des faits concrets et exigeant en même temps le plus de rigueur, l'identification du problème et la planification de l'expérimentation, sont reliés au stade opératoire formel caractérisé par l'utilisation de méthodes systématiques et plus particulièrement à la logique propositionnelle. Par ailleurs, d'après ces résultats, il n'est pas nécessaire d'avoir achevé la construction de la pensée formelle pour formuler des hypothèses ou énoncer des conclusions. La question du stade précis de pensée nécessaire à ces deux dernières habiletés reste cependant ouverte, les sujets de stade concret n'étant pas représentés dans notre étude.

Dans l'ensemble, l'expérience scientifique des sujets, mesurée par la fréquentation des cours de sciences, n'a pas d'effet significatif sur leurs résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique. Toutefois, la tendance des résultats multivariés laissent croire que la fréquentation des

cours de sciences a certains effets sur les sujets en transition. Il serait intéressant de pousser plus loin la vérification de cette hypothèse, en particulier par une expérience d'apprentissage.

Le sexe des sujets, quoique n'ayant pas d'effet significatif, contribue quelque peu à nuancer les résultats, les filles des groupes comparables obtenant systématiquement de meilleurs scores que les garçons. Par ailleurs, le fait que peu de filles en transition aient une fréquentation élevée des cours de sciences risque de les priver d'expériences susceptibles de déclencher le processus de rééquilibration conduisant vers des niveaux de pensée plus avancés.

Même si les hypothèses d'inspiration piagétienne n'ont pas toutes été confirmées, la théorie de Piaget reçoit ici un appui intéressant et paraît pertinente pour la poursuite d'études sur le raisonnement scientifique.

Références

- ALLAIRE-DAGENAIS, L.** (1977). *Étude transversale et apprentissage des structures opératoires formelles de combinatoire et de double réversibilité*. Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal.
- ALLAIRE-DAGENAIS, L.** (1983). *Étude longitudinale de la pensée opératoire formelle et de ses rapports avec certaines variables d'ordre scolaire*. Communication présentée à Munich lors de la 7^e rencontre biannuelle de l'International Society of Behavioural Development.
- ALLAIRE-DAGENAIS, L.** (1985). *Évolution comparée du raisonnement combinatoire et du raisonnement proportionnel chez des sujets de 12 à 16 ans*. Communication présentée à Tours lors de la 8^e rencontre biannuelle de l'International Society of Behavioural Development.
- ALLEN, L.** (1973). *An examination of the ability of third-grade children from the science curriculum improvement study to identify experimental variables and to recognize change*. *Science education*, **57**, 135-151.
- AUBÉ-TREMBLAY, V.** (1971). *La compréhension de l'implication chez des sujets de niveau formel et de niveau pré-formel*. Mémoire de maîtrise inédit, Université de Montréal.
- AUSUBEL, D.P.** (1964). *The transition from concrete to abstract cognitive functioning: theoretical issues and implications for education*. *Journal of research in science teaching*, **2**, 261-266.
- AUSUBEL, D.P.** (1969). *School learning; an introduction to educational psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- BARKER, H.R., BARKER, B.M.** (1984). *Multivariate analysis of variance (MANOVA), a practical guide to its use in scientific decision making*. Birmingham: University of Alabama Press.
- BASS, J.E., MADDUX, C.D.** (1982). *Scientific explanations and piagetian operational levels*. *Journal of research in science teaching*, **19**, 533-541.
- BOYER, J., LINN, M.** (1978). *Effectiveness of the science curriculum improvement study in teaching scientific literacy*. *Journal of research in science teaching*, **15**, 209-219.
- BRAUN, R.R.** (1978). *Cognitive development in «science-oriented» high school students*. *Dissertation abstracts international*, **39**, 2853A.

- BURNS, J.C., OKEY, J.R., WISE, K.C.** (1985). *Development of an integrated process skill test: tips II*. Journal of research in science teaching, **22**, 169-177.
- BUTZOW, J.W., SEWELL, L.E.** (1972). *An investigation of introductory physical science using the test of science process*. Journal of research in science teaching, **9**, 267-270.
- CATTELL, R.B.** (1971). *Abilities: their structure, growth, and action*. Boston: Houghton Mifflin.
- CHIAPPETTA, E.L.** (1976). *A review of Piagetian studies relevant to science instruction at the secondary and college level*. Science Education, **60**, 253-261.
- CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA** (1984). L'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes. Volume I sous la direction de ORPWOOD, G.W.F., SOUQUE, J.P. *Introduction et analyse des programmes d'études*. Hull: Centre d'édition du gouvernement du Canada.
- CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'ÉDUCATION**, (1989). *Améliorer l'éducation scientifique sans compromettre l'orientation des élèves. Les sciences de la nature et la mathématique au deuxième cycle du secondaire*. Québec: Bibliothèque nationale du Québec.
- COOLEY, W.W., LOHNES, P.R.** (1971). *Multivariate data analysis*. New York: Wiley.
- COULTER, D., WILLIAMS, H., SCHULZ, H.** (1981). *Formal operation ability and the teaching of science process*. School science and mathematics, **81**, 131-138.
- DEMERS, M., ALLAIRE, L.** (1987). *Comparaison entre la forme ouverte et la forme fermée d'un test de connaissance de la méthode expérimentale*. Revue canadienne de l'éducation, **12**, 54-73.
- DÉS AUTELS, P.** (1978). *La pensée formelle ou les liens entre le niveau de développement des structures de pensée et le succès académique, ainsi que sur la possibilité d'accélérer la maturation de ces structures chez des étudiants de niveau collégial*. Montréal: Collège de Rosemont.
- DES LIERRES, T.** (1980). *Mesure des habiletés d'observation et d'interprétation chez les élèves de secondaire I, II et III*. Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal.

- DILLASHAW, F.G., OKEY, J.R.** (1980). *Test of the integrated science process skills for secondary science students*. Science education, **64**, 601-608.
- FIELD, T.W., CROPLEY, A.J.** (1969). *Cognitive style and science achievement*. Journal of research in science teaching, **6**, 2-10.
- FLEXER, B.K.** (1980). *Field dependance-independance and the development of formal operational thought: a longitudinal investigation*. Thèse de doctorat inédite, Temple University. Dissertation abstracts international, **41**, 2356.
- GAGNÉ, R.M.** (1965). *The psychological bases of science - a process approach*. Washington: American Association for the advancement of science.
- GAGNÉ, R.M.** (1970). *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- GENDRE, F.** (1976). *L'analyse statistique multivariée*. Genève: Librairie Droz.
- GOLDMAN, R.D., KAPLAN, R.M., PLATT, B.B.** (1973). *Sex differences in the relationship of attitudes toward technology to choice of field study*. Journal of counseling psychology, **20**, 412-418.
- HALFORD, G.S.** (1978a). Towards a working model of Piaget's stages in Keats, J.A., Collis, K.F., Halford, G.S. (Ed.) *Cognitive development*. New York: Wiley.
- HALFORD, G.S.** (1978b). *An approach to the definition of cognitive developmental stages in school mathematics*. British Journal of educational psychology, **48**, 298-314.
- HARTFORD, F., GOOD, R.** (1982). *Training chemistry students to ask research questions*. Journal of research in science teaching, **19**, 559-570.
- HOPSTEIN, A., MANDLER, V.** (1985). *The use of Lawson's test of formal reasoning in the Israeli science education context*. Journal of research in science teaching, **22**, 141-152.
- INHELDER, B. PIAGET, J.** (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent, Essai sur la construction des structures opératoires formelles*. Paris: Presses universitaires de France.

- ITO, K.** (1969). On the effect of heteroscedasticity and nonnormality upon some multivariate test procedures **in** KRISHNAIAH, R.P. (Ed.) *Multivariate analysis II*. New York: Academic Press.
- KAPLAN, R.M., LITROWNIK, A.J.** (1977). *Some statistical methods for the assessment of multiple outcome criteria in behavioral research*. Behavior therapy, **8**, 383-392.
- KLOPPER, L.E.** (1971). Evaluation of learning in science **in** BLOOM, B.S., HASTING, J.T., MADAUS, G.F. (Ed), *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. New York: McGraw-Hill.
- LAFORGE, H.** (1981). *Analyse multivariée*. Saint-Laurent: Éditions études vivantes.
- LAPIERRE, F.S.** (1981). *Elaboration d'une batterie collective de pensée opératoire formelle*. Mémoire de maîtrise inédite, Université de Montréal.
- LAWSON, A.E.** (1985). *A review of research on formal reasoning and science teaching*. Journal of recherche in science teaching, **22**, 569-617.
- LAWSON, A.E., KARPLUS, R., ADI, H.** (1978). *The acquisition of propositional logic and formal operational schemata during the secondary school years*. Journal of research in science teaching, **15**, 465-478.
- LAWSON, A.E., NORDLAND, F.H., DEVITO, A.** (1975). *Relationship of formal reasoning to achievement, aptitudes, and attitudes in preservice teachers*. Journal of research in science teaching, **4**, 423-431.
- LINN, M., THIER, H.** (1975). *The effect of experiential science on development of logical thinking in children*. Journal of research in science teaching, **12**, 49-62.
- LIVERMORE, A.H.** (1964). *The process approach of the AAAS Commission of science education*. Journal of research in science teaching, **2**, 271-282.
- LONGEOT, F.** (1969). *Psychologie différentielle et théorie opératoire de l'intelligence*. Paris: Dunod.
- LOVELL, K.** (1980). The relevance of cognitive psychology to science and mathematics education. **in** Archenhold, w.f., Driver, R.H., Orton, A., Wood-Robinson, C. *Cognitive development research in science and mathematics*. Leeds: University of Leeds.

- MATALON, B.** (1962). Étude génétique de l'implication in BETH, E.W., GRIZE, J.B., MARTIN, R., MATALON, B., NAESS, A., PIAGET J.: *Études d'épistémologie génétique. XVI: Implication, formalisation et logique naturelle*. Paris: Presses universitaires de France.
- MCLEOD, R.J., BERKHEIMER, G.D., FYFFE, D.W., ROBISON, R.W.** (1975). *The development of criterion-validated test items for four integrated science processes*. Journal of research in science teaching, **12**, 415-421.
- MOLITOR, L.L., GEORGE, K.D.** (1976). *Development of a test of science process skills*. Journal of research in science teaching, **13**, 405-412.
- MORGENSTEN, C.F., RENNER, J.W.** (1984). *Mesuring thinking with standardized science tests*. Journal of research in science teaching, **21**, 639-648.
- MOSHMAN, D., THOMPSON, P.A.** (1981). *Hypothesis testing in students: sequences, stages, and instructional strategies*. Journal of research in science teaching, **18**, 341-352.
- NAMBOODIRI, N.K., CARTER, L.F., BLABLOCK, H.M.** (1975). *Applied multivariate analysis and experimental designs*. Montréal: Mc Graw Hill.
- NASSEFAT, M.** (1963). *Étude quantitative sur l'évolution des opérations intellectuelles. Le passage des opérations concrètes aux opérations formelles*. Neuchâtel: Delachaux.
- NEIMARK, E.D.** (1975). *Longitudinal development of formal operations thought*. Genetic psychology monographs, **91**, 171-225.
- NIE, N.H., HULL, C.H., JENKINS, J.G., STEINBRENNER, K., BENT, D.H.** (1970). *Statistical package for the social sciences, second edition*. Montréal: Mc Graw Hill, 1975.
- NOIZET, G., CAVERNI, J.P.** (1978). *Psychologie de l'évaluation scolaire*. Paris: Presses universitaires de France.
- NORTON, D.W.** (1952). *An empirical investigation of some effects of nonnormality and heterogeneity on the F-distribution*. Unpublished doctoral dissertation, State University of Iowa.
- NOVAK, J.D.** (1977). *A theory of education*. Cornell: Cornell University press.

- PADILLA, M.J.** (1980). *Science activities for thinking*. School science and mathematics, **80**, 601-608.
- PADILLA, M.J., OKEY, J.R., DILLASHAW, F.G.** (1983). *The relationship between science process skills and formal thinking abilities*. Journal of research in science teaching, **20**, 239-247.
- PADILLA, M.J., OKEY, J.R., GARRARD, K.** (1984). *The effects of instruction on integrated science process skill achievement*. Journal of research in science teaching, **21**, 277-287.
- PALLRAND, G.J., MORETTI, V.** (1980). *Relationship of cognitive level to instructional patterns of high school seniors*. Journal of research in science teaching, **17**, 185-190.
- PELLETIER, D., LARIVÉE, S., GAGNON, C.** (1985). *Étude comparative de l'équivalence des tests papier-crayon et de la méthode clinique dans l'évaluation de la pensée formelle*. Société Alfred Binet et Théodore Simon, **605**, 25-42.
- PIAGET, J.** (1972). *Où va l'éducation?* Paris: Unesco.
- PIAGET, J., INHELDER, B.** (1951). *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. Paris: Presses universitaires de France.
- PIERCE, W.D., LORBER, M.A.** (1977). *Objectives and methods for secondary teaching*. Englewood Cliffs: Prentice Hall inc.
- RILEY, J.W.** (1972). *The development and use of a group process test for selected processes of the science curriculum improvement study*. Dissertation abstracts international, **33**, 6200A-6201A.
- ROBERT, P.** (1989). *Le petit Robert 1. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Montréal: Les dictionnaires Robert-Canada S.C.C.
- SAARNI, C.I.** (1973). *Piagetian operations and field dependance as factors in children's problem solving performance*. Child development, **44**, 338-345.
- SHAYER, M., ADEY, P., WYLAM, H.** (1981). *Group tests of cognitive development ideals and a realization*. Journal of research in science teaching, **18**, 157-168.

- SHAYER, M., KÜCHEMANN, D.E., WYLAM, M.H.** (1976). *The distribution of piagetian stages in British middle and secondary school children*. British journal of educational psychology, **46**, 164-173.
- SIEGEL, S.** (1956). *Non parametric statistics for the behavioral sciences*. New York: McGraw Hill.
- SPEARMAN, C., WYNN-JONES, L.** (1951). *Human ability*. London: MacMillan.
- ST-CYR, C.** (1988). *Pensée formelle et créativité chez les adolescents*. Thèse de doctorat inédite, Université de Montréal.
- TANNENBAUM, R.S.** (1968). *The development of the test of science processes*. Dissertation abstracts, **29**, 2159A.
- TELLIER, J.** (1979). *Développement intellectuel et apprentissage au niveau collégial*. St-Jérôme: Cégep de St-Jérôme.
- THIBERT G.** (1980). L'inventaire des attitudes scientifiques in Sainte-Marie, L. *Évaluation de l'enseignement des sciences au secondaire en fonction des objectifs généraux et particuliers de cet enseignement*. Montréal: Université de Montréal.
- TISHER, R.P.** (1971). *A Piagetian questionnaire applied to pupils in a secondary school*. Child development, **42**, 1633-1636.
- TOBIN, K., CAPIE, W.** (1981). *Relationships between formal reasoning ability, locus of control, academic engagement and integrated process skill achievement*. Journal of research in science teaching, **19**, 113-123.
- TORKIA-LAGACÉE, M.** (1981). *La pensée formelle chez les étudiants de Collège I: objectif ou réalité?* Québec: Collège de Limoilou.
- TOUSIGNANT, R.** (1982). *Les principes de la mesure et de l'évaluation des apprentissages*. Saint-Jean-sur-Richelieu: Éditions Préfontaine.
- TREMPE, P.L.** (1984) Lavoisier: l'enseignement des sciences dans une polyvalente, in CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA: *L'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes* Volume III sous la direction de OLSON, J., RUSSELL, T. *Études de cas*. Hull: Centre d'édition du gouvernement du Canada.
- TUCKMAN, B.W.** (1978). *Conducting educational research* (2nd ed.). New York: Harcourt Brace Jovanovitch.

- WARD, C.R., HERRON, J.D.** (1980). *Helping students understand formal chemical concepts* Journal of research in science teaching, **17**, 387-400.
- WEBER, M.C., RENNER, J.W.**(1972). *How effective is the SCIS science program?* *School science and mathematics* **72**, 729-734.
- WILKINSON, L.** (1975). *Response variable hypotheses in the multivariate analysis of variance*. Psychological Bulletin, **82**, 408-412.
- WOLLMAN, W.T.** (1982). *Form versus content in Piagetian testing*. Science education, **66**, 751-762.
- WOOD, D.A.**(1974). *The Piaget-process matrix*. School science and mathematics, **74**, 407-412.
- YEANY, R.H., YAP, K.C., PADILLA, M.J.** (1986). *Analyzing hierarchical relationships among modes of cognitive reasoning and integrated science process skills* Journal of research in science teaching, **3**, 277-291.

Appendice A

Épreuves formelles et clés de correction

Épreuves opératoires formelles

1. Équilibre de la balance

Matériel 1 balance à fléau, chaque côté du fléau étant percé de 32 trous équidistants numérotés de 1 à 32

12 cubes de couleurs et de masses différentes (2 verts de 10 g, 2 blancs de 20 g, 2 rouges de 30 g, 2 bleus de 40 g, 2 jaunes de 60 g et 2 bruns de 60 g) pouvant être accrochés au fléau de la balance

1 carton sur lequel les cubes sont placés par ordre de masse vis-à-vis des numéros 1, 2, 3, 4, 6 et 8 servant à les identifier

Consigne générale

Tu vois, ici on a une balance. De chaque côté du centre de la balance, il y a 32 trous et on peut y accrocher des cubes en bois avec des crochets.

Il y a aussi plusieurs cubes, deux de chaque couleur: deux verts, deux blancs, deux rouges, deux bleus, deux jaunes et deux bruns. Les deux cubes qui sont de la même couleur pèsent la même chose: les deux verts pèsent la même chose, les deux blancs aussi, etc... Mais, quand on change de couleur, on change aussi de poids: les verts ne pèsent pas la même chose que les blancs, les blancs ne pèsent pas la même chose que les rouges, etc...

Ton travail sera de trouver où placer les cubes pour que la balance reste bien droite et qu'elle garde son équilibre.

Items préparatoires

A) (*Tenir la balance*).

Faire accrocher par le sujet un cube rouge à D20 et un cube jaune à G15.
Décrire le matériel. (*Lâcher la balance*). Souligner le déséquilibre et dire:

- Alors, comment faire pour rétablir l'équilibre sans ajouter d'autres cubes ? (*Tenir la balance*).

Exécution: (R à D30 ou J à G10)

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ? (*Lâcher la balance*).

B) (*Tenir la balance*).

Présenter au sujet deux cubes: le brun et le vert.

Décrire le matériel et dire:

- Maintenant, tu accroches le brun, le plus pesant, à G3 et tu vas accrocher le vert, le moins pesant, de l'autre côté à droite, pour que la balance reste bien droite. Où vas-tu l'accrocher ?

Exécution: (D24)

Si le sujet réussit, dire:

- Pourquoi penses-tu qu'il faut mettre le moins pesant plus loin ?

(*Lâcher la balance*).

Dans tous les cas, dire:

- Tu vois, quand je mets (exécution) le poids vert tout près du milieu (D4), ça penche du côté brun. Si je le mets plus loin (D24), la balance reste droite. Et si je le mets encore plus loin (D30), ça ne penche plus du côté du brun mais ça penche maintenant du côté du vert. Tu vois, c'est comme si le poids prenait plus de force à mesure qu'il s'en va plus loin; est-ce que ça a du bon sens de dire cela, d'après toi ?

- Comment est-ce que tu dirais ça, toi, dans tes propres mots ?

Item 1:*(Tenir la balance)*

Faire accrocher par le sujet un cube jaune à G9 et un cube rouge à D18.
 Décrire le matériel. (*Lâcher la balance*). Souligner le fait qu'il y a équilibre et dire:

- Alors, est-ce que tu penses que les deux cubes, le jaune et le rouge, sont pareils, qu'ils pèsent la même chose ?
- Si oui, pourquoi ?
- Si non, lequel est le plus pesant ?
- Combien de fois plus pesant que l'autre ?
- Pourquoi ?

Item 2:

Faire intervenir le carton indiquant le poids des cubes. Placer les cubes dans les cases appropriées. Décrire le matériel. (*Tenir la balance*).

Faire accrocher par le sujet un cube bleu (p 4) à G6. Décrire le matériel et dire:

- Il faut que tu rétablisses l'équilibre en plaçant cet autre cube, le brun (p 8), à droite, où tu voudras. Où vas-tu le placer ?
- Exécution (D3)

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ?

(*Lâcher la balance*). S'il y a erreur, dire:

- Alors, où vas-tu le placer pour que la balance reste bien droite ? (*Tenir la balance*).

Exécution.

- Pourquoi ? (*Lâcher la balance*).

Item 3:

(*Tenir la balance*). Faire accrocher par le sujet un cube vert (p 1) à G 24.
Décrire le matériel et dire:

- Il faut que tu rétablisses l'équilibre en plaçant un autre cube à D6. Mets un crochet tout de suite pour te rappeler où. Alors, il va falloir que tu accroches un cube qui pèse combien ?

Exécution (*Bleu: 4*).

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ?

(*Lâcher la balance*). S'il y a erreur, dire:

- Alors, quel cube vas-tu accrocher pour que la balance reste bien droite ?
(*Tenir la balance et laisser le crochet en place*).

Exécution.

- Pourquoi ? (*Lâcher la balance*).

Item 4:

(Tenir la balance). Faire accrocher par le sujet un cube jaune (p 6) à D7.
Décrire le matériel et dire:

- Il faut que tu rétablisses l'équilibre en plaçant cet autre cube, le blanc (p 2) à gauche, où tu voudras. Où vas-tu le placer ?

Exécution (*G21*).

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ?

(*Lâcher la balance*). S'il y a erreur, dire:

- Alors, où vas-tu le placer pour que la balance reste bien droite ? (*Tenir la balance*).

Exécution.

- Pourquoi ? (*Lâcher la balance*).

Item 5:

(*Tenir la balance*). Faire accrocher par le sujet un cube rouge (p 3) à D8.
Décrire le matériel et dire:

- Il faut que tu rétablisses l'équilibre en plaçant un autre cube à G6. Mets un crochet tout de suite pour te rappeler où. Alors, il va falloir que tu accroches un cube qui pèse combien ?

Exécution (*Bleu: 4*).

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ?

(*Lâcher la balance*). S'il y a erreur, dire:

- Alors, quel cube vas-tu accrocher pour que la balance reste bien droite ? (*Tenir la balance et laisser le crochet en place*).

Exécution.

- Pourquoi ? (*Lâcher la balance*).

Item 6:

(*Tenir la balance*). Faire accrocher par le sujet un cube blanc (p 2) à G9
Décrire le matériel et dire:

- Il faut que tu rétablisses l'équilibre en plaçant cet autre cube, le rouge (p 3) à droite, où tu voudras. Où vas-tu le placer ?

Exécution (*D6*).

- Pourquoi penses-tu que la balance sera en équilibre ?

(*Lâcher la balance*). S'il y a erreur, dire:

- Alors, où vas-tu le placer pour que la balance reste bien droite ? (*Tenir la balance*).

Exécution.

- Pourquoi ? (*Lâcher la balance*).

Clé de correction pour l'épreuve de l'équilibre de la balance

Stade 1: Le stade 1 regroupe les sujets qui ne réussissent que les items préparatoires et qui appliquent une solution qualitative aux items 1 à 4 de même que les sujets qui réussissent l'item 1 où le rapport de proportionnalité de $1/2$ doit être découvert et non pas construit par le sujet.

Stade 2: Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent au moins un des items 2, 3 ou 4 (construction d'un rapport quantitatif de proportionnalité de $1/2$, $1/4$ ou $1/3$), mais qui échouent encore les items 5 et 6 faisant intervenir des rapports plus complexes de proportionnalité quantitative ($3/4$ et $2/3$).

Stade 3: Le stade 3 est réservé aux sujets qui, en plus de réussir au moins un des deux items 1 et 2 et au moins un des deux items 3 et 4, réussissent également l'item 5 ou l'item 6 (rapports de 3 à 4 ou de 2 à 3) et qui justifient leurs réponses par un raisonnement faisant état d'un rapport quantitatif inverse entre les masses et les distances.

Item 1: former les paquets

X000 XX00

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 2: former les paquets

XXX00 XXX0000

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 3: former les paquets

XX00 XO

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 4: former les paquets

X000 XXX00000

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 5: former les paquets

XX0000 XXX000000

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 6: former les paquets

X00 XX000

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 7: former les paquets

XXXO XXO

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Item 8: former les paquets

XX0000 XXX00000

décrire le matériel et dire:

- Si je te demande de piger un jeton, est-ce que tu as la même chance de piger un jeton avec un X dans les deux paquets ?

oui pourquoi tu penses que c'est la même chance dans les deux paquets ?

non dans quel paquet as-tu le plus de chance de piger un jeton avec un X ?

(encercler sa réponse)

pourquoi tu penses que tu as le plus de chance dans ce paquet ?

Clé de correction pour l'épreuve de la quantification des probabilités

Stade 1: Le stade 1 regroupe les sujets qui réussissent l'item préparatoire, qui n'appliquent qu'une solution qualitative partielle aux items 1 et 2, en ne considérant qu'une sorte de jetons, et qui réussissent l'item 3 présentant le rapport $1/2$.

Stade 2: Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent quantitativement plusieurs des items 4, 5 et 7 présentant des rapports simples de proportionnalité: $1/4$ versus $3/8$, $2/6$ versus $3/9$ ou $3/4$ versus $2/3$ mais qui échouent les items faisant intervenir des rapports plus complexes.

Stade 3: Le stade 3 est réservé aux sujets qui, en plus de réussir au moins trois des items 3, 4, 5 ou 7 réussissent également les items 6 et 8 présentant les rapports de $1/3$ versus $2/5$ et $2/6$ versus $3/8$.

3. Permutations de jetons

Matériel 150 jetons de plastique de 1,8 cm de diamètre disposés en cinq piles de 30 jetons rouges, jaunes, bleus, verts et orangés

Consigne générale

Disposer devant le sujet les quatre piles de 30 jetons, chacune formée respectivement de jetons rouges, jaunes, bleus et verts. Décrire le matériel et dire:

- Ce que tu auras à faire, c'est de placer les jetons de toutes les manières possibles. Je vais te donner un exemple: c'est comme deux personnes qui ont deux chaises pour s'asseoir. Elles peuvent s'asseoir l'une à côté de l'autre, puis changer de place. De la même manière, si j'ai deux couleurs de jetons: des jetons rouges et des jetons jaunes, je peux le placer ainsi: R J ou ainsi: J R (*exécution*).

Item préparatoire

Placer devant le sujet trois piles de jetons: les rouges, les jaunes et les bleus. Décrire le matériel et dire:

- Maintenant, tu dois faire des lignes avec trois piles de jetons. Mais cette fois-ci, dans chaque ligne, il devra y avoir trois jetons: un rouge, un jaune et un bleu.
- Avant de commencer, es-tu capable de me dire combien de lignes différentes tu pourrais faire avec ces trois couleurs de jetons ?
- Pourquoi tu dis que (*réponse du sujet*) ?
- Maintenant, essaie de faire le plus de lignes possibles, en changeant les couleurs de place. Si tu veux, tu peux commencer avec un jeton rouge.

Essais et verbalisations:

A. S'il y a lieu, dire:

- Est-ce que tu essaies de faire le nombre de lignes que tu avais prédit tantôt ? Pourquoi ?

ou/et:

- Tu n'es pas obligé de faire le nombre de lignes que tu avais prédit tantôt. Tu peux en faire plus ou en faire moins.

B. Si le sujet ne parvient pas à trouver les six permutations:

- Es-tu sûr(e) d'avoir tout fait ?

ou/et:

- Est-ce que tu ne pourrais pas commencer une autre fois par (nommer la couleur) ?

C. Si le sujet a fait deux fois la même permutation:

- Est-ce que ça se peut que tu aies fait deux fois la même chose ?

ou/et:

- Cette ligne-là et celle-là ici, est-ce que ce n'est pas la même chose ?

D. Si le sujet ne parvient pas à faire les six permutations ou s'il ne parvient pas à placer en ordre le nombre exact de permutations, faire devant lui les six permutations en les plaçant en ordre et dire:

- Tu vois, pour que ce soit moins mêlant, on peut aussi placer les lignes de cette façon.

E. Si le sujet réussit à faire toutes les permutations sans répétition:

- Es-tu sûr(e) qu'il n'y en a pas d'autres ?

- Pourquoi tu dis que (*réponse du sujet*) ?

Item 1

Placer devant le sujet quatre piles de jetons: les rouges, les jaunes, les bleus et les verts. Décrire le matériel et dire:

- Maintenant, tu dois faire des lignes avec quatre piles de jetons. Cette fois-ci, dans chaque ligne, il devra y avoir quatre jetons: un rouge, un jaune, un bleu et un vert.
- Mais avant de commencer, es-tu capable de me dire combien de lignes différentes tu pourrais faire avec ces quatre couleurs de jetons ?
- Pour quoi tu dis (*réponse du sujet*) ?
- Maintenant, essaie de faire le plus de lignes possibles en changeant les couleurs de place. Si tu veux, tu peux commencer avec un rouge.

Essais et verbalisations:

(Laisser le sujet poursuivre ses placements sans intervenir jusqu'à ce qu'il s'arrête de lui-même.)

A. Si le sujet ne parvient pas à trouver à la suite six permutations commençant par une même couleur:

- Es-tu sûr(e) d'avoir fait toutes les lignes qui commencent par (*nommer la première couleur utilisée par le sujet*) ?

ou/et:

- Est-ce que tu ne pourrais pas commencer une autre fois par (*nommer la couleur utilisée*) ?

B. S'il y a lieu, dire:

- Est-ce que tu essaies de faire le nombre de lignes que tu avais prédit tantôt ?
- Pourquoi ?

ou/et:

- Tu n'es pas obligé de faire le nombre de lignes que tu avais prédit tantôt. Tu peux en faire plus ou en faire moins.

C. Si le sujet a fait deux fois la même permutation:

- Est-ce que ça se peut que tu aies fait deux fois la même chose ?

ou/et:

- Cette ligne-là et celle-là ici, est-ce que ce n'est pas la même chose ?

D. Si le sujet n'est pas parvenu à trouver les 24 permutations:

- Es-tu sûr(e) d'avoir fait toutes les lignes qu'on peut faire avec les quatre couleurs ?

- Pourquoi tu dis que (*réponse du sujet*) ?

E. Si le sujet est parvenu à effectuer correctement et sans répétition les 24 permutations:

- Est-ce qu'il y en a d'autres ?

- Pourquoi tu dis que (*réponse du sujet*) ?

Clé de correction pour l'épreuve des permutations de jetons

Stade 1: Le stade 1 regroupe les sujets qui réussissent l'item préparatoire (permutations de trois couleurs) de manière plus ou moins systématique et qui, à l'item 1 (permutations de quatre couleurs) et à l'item 2 (permutations de cinq couleurs), trouvent trois ou quatre permutations commençant par chacune des couleurs à l'aide de systèmes partiels appliqués de façon non systématique.

Stade 2: On retrouve au stade 2 les sujets qui réussissent l'item préparatoire de façon systématique et qui à l'item 2 trouvent cinq ou six permutations commençant par chacune des quatre couleurs; la caractéristique principale de ces sujets est de découvrir au cours de l'entrevue une méthode systématique pour rechercher les 24 permutations de quatre couleurs; que cette méthode les conduise ou non à découvrir toutes les permutations possibles, les sujets de ce stade aboutissent toujours à des distributions égales, i.e. à un nombre équivalent de permutations commençant par chaque couleur; ils ne peuvent toutefois généraliser leur méthode pour leur permettre de découvrir le nombre total de permutations possibles avec cinq couleurs.

Stade 3: Le stade 3 est réservé aux sujets qui utilisent une méthode systématique pour réussir l'item 1 (permutations de quatre couleurs) en gardant constantes les deux premières couleurs tout en faisant varier les deux dernières; la même méthode systématique est appliquée pour réussir l'item 2 (permutations

de cinq couleurs), soit garder constantes les trois premières couleurs et faire varier les deux dernières; cette fois, les sujets n'ont pas besoin de faire plus de quelques lignes pour être en mesure de prédire le nombre total (120) qu'ils obtiendront; ils appliquent la règle suivante pour trouver le nombre de permutations possibles avec n éléments: $1 \times 2 \times 3 \times 4$ pour les permutations avec quatre couleurs, $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5$ pour les permutations avec cinq couleurs.

4. Implication

Matériel 1 enveloppe contenant plusieurs cartons (6 x 8 cm) sur lesquels sont dessinées, à une extrémité, une ampoule électrique ronde et à l'autre extrémité, une ampoule électrique pointue; certaines ampoules sont éteintes, d'autres sont allumées (présence d'un halo autour de l'ampoule)

4 cartons sur lesquels une seule ampoule est dessinée à une extrémité, soit une "pointue allumée", une "pointue éteinte", une "ronde éteinte" et une "ronde allumée"

3 cartons semblables aux précédents, mais dont la moitié est cachée (recouverte par un carton); ce sont: une "pointue éteinte", une "ronde éteinte" et une "ronde allumée"

Consigne générale:

On a dessiné sur des cartes des lumières d'arbre de Noël, pointues ou rondes. À gauche, il y a une lumière pointue et à droite, une lumière ronde. Les lumières peuvent être allumées ou éteintes. Il serait possible d'avoir toutes les cartes suivantes:

pointue allumée	-	ronde allumée
pointue allumée	-	ronde éteinte
pointue éteinte	-	ronde allumée
pointue éteinte	-	ronde éteinte

Mais on a décidé que lorsque la lumière pointue est allumée, il faut que la ronde soit éteinte.

partie A:

Dire au sujet:

- Je vais te présenter des cartes, une à la fois, sur lesquelles une seule ampoule est dessinée. Tu devras me dire ce qu'on pourrait dessiner dans l'autre section de la carte. Répéter la règle: n'oublie pas que ...

item 1- Présenter la cartePA1?

Que pourrais-tu dessiner sur cette carte ?

Pourquoi tu dis (...) ?

Pourrait-il y avoir autre chose que (...) ?

Pourquoi ?

item 2- Présenter la cartePE1?

Que pourrais-tu dessiner sur cette carte ?

Pourquoi tu dis (...) ?

Pourrait-il y avoir autre chose que (...) ?

Pourquoi ?

item 3- Présenter la carte

21RE

Que pourrais-tu dessiner sur cette carte ?

Pourquoi tu dis (...) ?

Pourrait-il y avoir autre chose que (...) ?

Pourquoi ?

item 4- Présenter la carte

21RA

Que pourrais-tu dessiner sur cette carte ?

Pourquoi tu dis (...) ?

Pourrait-il y avoir autre chose que (...) ?

Pourquoi ?

partie B:

item 5- Dire au sujet: tu te rappelles la règle ? (*noter sa réponse*)

(*la lui rappeler si nécessaire*)

- Quelqu'un m'a dit que peut-être cette règle-là n'est pas toujours vraie. Je vais te montrer trois cartes sur lesquelles on a caché une des deux ampoules. Placer devant le sujet:

PEI//

//IRE

//IRA

- Dire: tu ne peux voir qu'une section de chacune de ces cartes. Pour savoir si c'est encore vrai que lorsque la pointue est allumée, la ronde est éteinte, il y a un seul carton qu'il est absolument nécessaire d'enlever. Je veux que tu me dises lequel. Penses-y bien avant de répondre - prends tout ton temps. (*encercler son choix*)

- Pourquoi penses-tu qu'il est nécessaire d'enlever ce carton-là ?

- Pourquoi tu penses que ce n'est pas nécessaire d'enlever les deux autres ?

Clé de correction pour l'épreuve d'implication

Stade 1: Le stade 1 regroupe les sujets qui réussissent au mieux les deux inférences déterminées des items 1 et 4, c'est-à-dire lorsqu'une seule réponse est possible.

Stade 2: Le stade 2 est attribué aux sujets qui réussissent en plus des inférences déterminées au moins l'une des inférences indéterminées, soit les items 2 ou 3, alors que deux réponses sont possibles.

Stade 3: Le stade 3 est réservé aux sujets qui, en plus de réussir les deux inférences indéterminées réussissent la vérification, l'item 5, c'est-à-dire l'identification du cas qui contredirait la règle.

Appendice B

Test de raisonnement scientifique: items et grille de correction

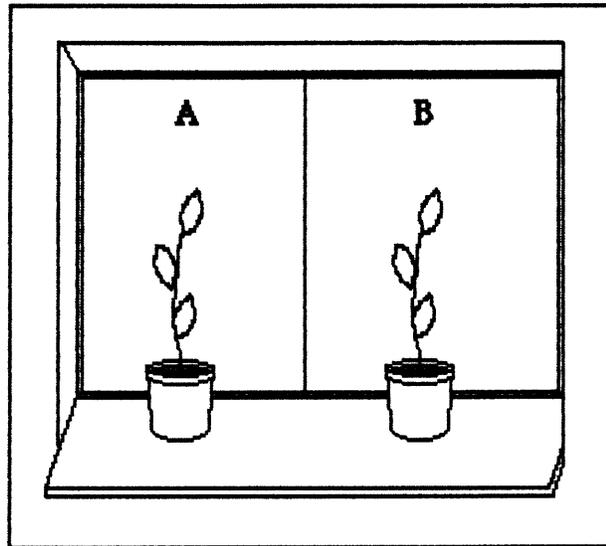
Sur la feuille de réponse, tu noircis la case qui représente ta réponse.
Réponds bien à toutes les questions.

La meilleure question à se poser

1. Une école A voit ses finissantes en secrétariat refusées sur le marché du travail. Les écoles semblables de cette région voient leurs finissantes trouver immédiatement du travail. Devant ces faits, quelle serait d'abord la meilleure question à se demander ?
 - a. L'incompétence des professeurs de l'école A pourrait-elle expliquer cette situation ?
 - b. Quelles raisons font que les finissantes de l'école A ne trouvent pas de travail ?
 - c. Les finissantes de l'école A ont-elles fait application plus tard que celles des autres écoles ?
 - d. Les résultats aux examens des finissantes des autres écoles sont-ils meilleurs que ceux des finissantes de l'école A ?
 - e. L'école A a-t-elle eu dans le passé une mauvaise réputation ?

2. On a deux sortes d'enveloppes fabriquées avec la même colle: une première sorte faite de papier brun et une deuxième faite de papier blanc. On se plaint que les enveloppes brunes ne restent pas collées. Devant cette situation la première question à se poser serait:
 - a. Pourquoi le papier brun empêcherait-il la colle d'être efficace ?
 - b. Est-ce que le papier brun serait plus épais que le papier blanc ?
 - c. Le papier brun contiendrait-il trop de fibres de pulpe (venant du bois à papier) ?
 - d. Le papier blanc est-il de meilleure qualité que le papier brun ?
 - e. Qu'est-ce qui fait que les enveloppes brunes décollent ?

3. On a réparé une fenêtre à deux grands carreaux. Le premier carreau A est fait de plastique, le deuxième carreau B est fait de verre. Des plantes d'une même variété et de même âge ont été placées sur le rebord de la fenêtre. Après quelques semaines, les feuilles de la plante placée derrière le carreau A sont moins vertes que celles de la plante placée derrière le carreau B. Que devrait-on d'abord se demander ?



- Pourquoi avoir posé des carreaux différents ?
- Le carreau B préserve-t-il mieux la plante du froid ?
- Pourquoi le carreau B laisse-t-il passer plus de lumière que le carreau A ?
- Pourquoi les feuilles de la plante placée derrière le carreau A sont-elles moins vertes ?
- Pourquoi ne pas avoir placé en A une plante adaptée à ce carreau ?

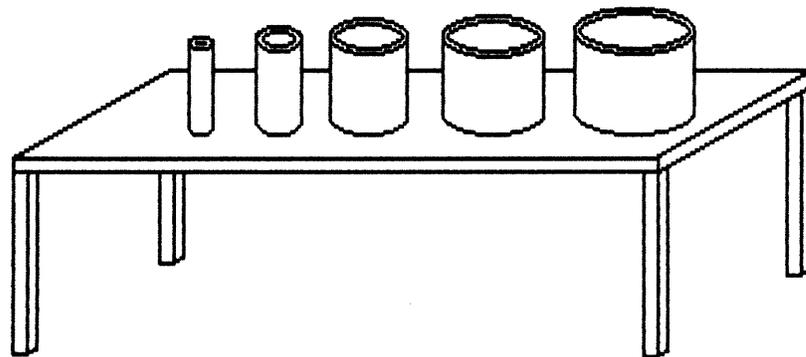
4. On teint en bleu de la même façon deux morceaux de 1 mètre carré d'un même tissu. Rendu au deuxième morceau, on doit rajouter un peu de la même teinture, déjà préparée, pour que le deuxième morceau y baigne complètement. En séchant, le deuxième morceau devient plus pâle. Devant ce fait, la question qu'on doit d'abord se poser serait:
 - a. Pourquoi n'a-t-on pas vérifié d'abord si la teinture pâlit avec le temps ?
 - b. Pourquoi ne pas avoir vérifié avec quelques fibres du deuxième morceau la teinte obtenue ?
 - c. Pourquoi les deux morceaux n'ont pas la même teinte ?
 - d. Pourquoi ne pas avoir vérifié si le temps de trempage a été le même ?
 - e. Pourquoi ne pas avoir teint les deux morceaux en même temps ?

5. À la cafétéria de l'école, il y a un menu différent chaque jour de la semaine, mais il se répète de semaine en semaine. Quelques semaines après la rentrée scolaire de septembre, on a constaté que le nombre des repas servis les mardis à midi baissait de moitié. Se basant sur cette seule constatation, quelle question doit-on d'abord se poser ?
 - a. Pourquoi les élèves n'aiment pas les repas servis les mardis à midi ?
 - b. Les repas du mardi midi sont-ils plus chers ?
 - c. Y aurait-il des réunions de classe les mardis à midi ?
 - d. Les menus du mardi sont-ils moins bons qu'à la rentrée ?
 - e. Pourquoi le nombre de repas, servis les mardis à midi, baisse-t-il de moitié ?

6. Dans deux blocs à appartements voisins et semblables (A et B), on remarque que les concierges du bloc B ne gardent pas leur emploi plus d'un mois, contrairement aux concierges du bloc A. Devant cette situation, la question qu'il faut d'abord se poser serait:
- a. Ne devrait-on pas payer davantage les concierges du bloc B ?
 - b. Pourquoi les concierges du bloc A ne donnent-ils pas de conseils à ceux du bloc B ?
 - c. Pour quelles raisons les concierges du bloc B ne restent-ils pas plus d'un mois ?
 - d. Y a-t-il quelque chose de désagréable dans le bloc B ?
 - e. Pourquoi les locataires du bloc B se plaignent-ils plus souvent des concierges ?

La meilleure vérification à faire

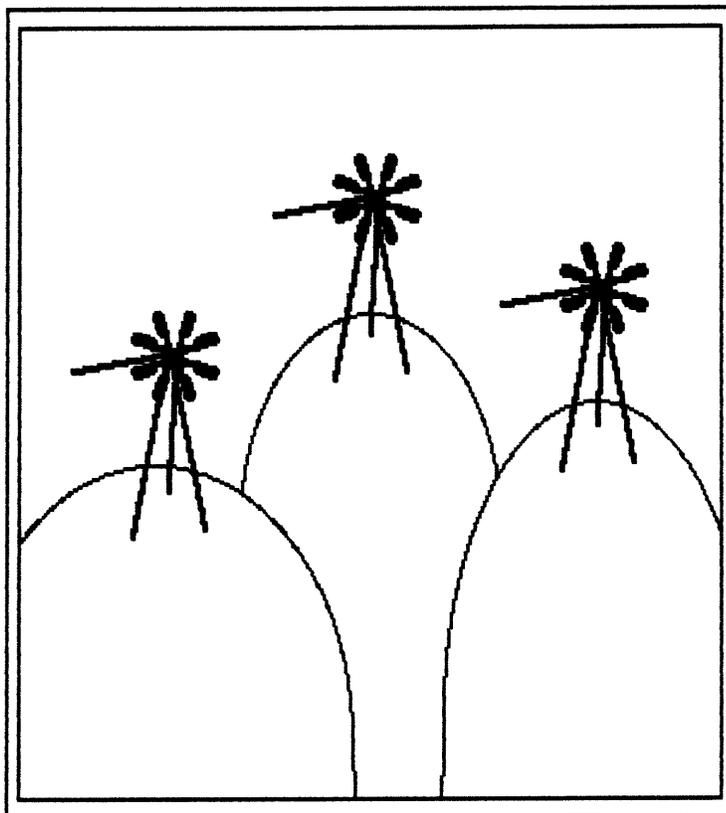
7. Un ingénieur se demande: «ces cylindres ont-ils tous la même résistance?» Il prend 5 cylindres creux dont les diamètres varient de 1 à 5 cm mais le matériau, l'épaisseur de la paroi et la hauteur sont les mêmes. Il place ensuite sur le premier cylindre des masses de plus en plus grandes jusqu'à ce que celui-ci s'écrase, puis il procède de la même façon pour chacun des autres cylindres. Que cherche-t-il à savoir précisément ?



- a. Si un de ces cylindres sera suffisamment résistant pour servir à la construction d'un gazoduc.
- b. Si les cylindres fèlent (cassent) tous de la même façon.
- c. Si l'épaisseur de la paroi des cylindres a un rapport avec leur résistance.
- d. Si les cylindres se brisent à une même masse.
- e. Si des masses de formes différentes influencent la brisure des cylindres.

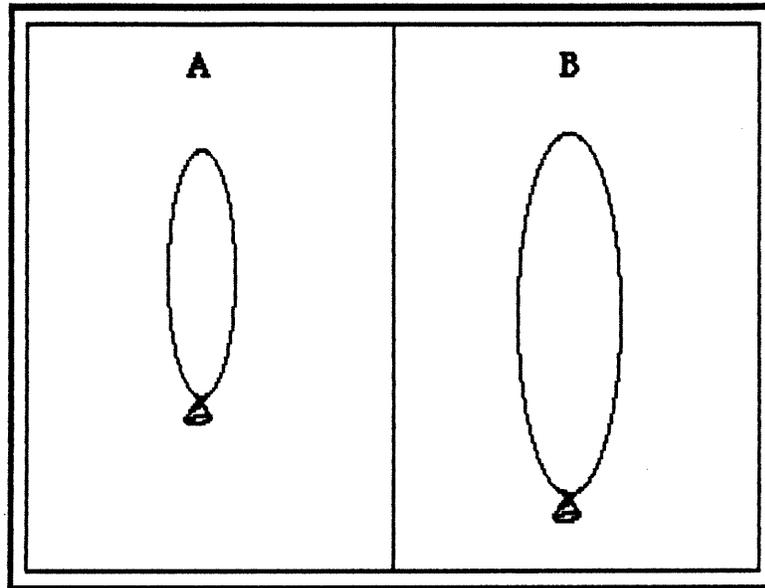
8. Deux équipes de campeurs utilisent des bougies (chandelles) de même grosseur pour faire bouillir de l'eau. La première équipe a des bougies faites de cire d'abeille, l'autre équipe a des bougies faites de parafine. On se rend compte que dans des marmites semblables placées à une même distance de la flamme, une même quantité d'eau prend plus de temps à bouillir que dans l'autre. La cause à supposer d'abord serait:
- a. Une des deux sortes de bougies est enduite d'un produit qui l'empêche de dégoutter.
 - b. Une des deux sortes de bougies brûle plus vite.
 - c. Une des deux sortes de bougies est plus molle.
 - d. Les bougies de cire et de parafine donnent une quantité différente de chaleur.
 - e. Les campeurs ont utilisé les bougies de façon différente.

9. On a placé sur trois montagnes de diverses hauteurs situées à 10 km l'une de l'autre des moulins à vent semblables en vue de produire de l'électricité. Les moulins à vent installés sur ces montagnes sont-ils également rentables ? La meilleure supposition à faire serait:



- a. Les moulins à vent sur les hautes montagnes ne seront pas également rentables.
- b. Les moulins à vent sur les hautes montagnes devront être plus courts à cause du vent pour être rentables.
- c. Les moulins à vent sur les hautes montagnes seront plus souvent brisés par le vent et occasionneront plus de frais.
- d. Les moulins à vent sur les hautes montagnes, brisant le paysage, nuiront à la rentabilité de l'industrie touristique.
- e. Les moulins à vent sur les hautes montagnes occasionneront des coûts élevés des fils de transmission.

10. Ce sont deux dessins d'un même ballon scellé rempli d'air avant et après l'avoir chauffé. Lorsqu'on le chauffe, le ballon devient plus gros comme en B. On se demande pourquoi le ballon d'air se gonfle davantage à la chaleur. La meilleure raison à supposer serait:



- a. À la chaleur, le ballon est plus extensible.
- b. À la chaleur, la fermeture du ballon devient plus serrée, ce qui empêche l'air de sortir.
- c. À la chaleur, l'air augmente de volume.
- d. À la chaleur, le caoutchouc du ballon est plus mou.
- e. À la chaleur, le ballon peut supporter une plus forte pression d'air.

11. Les poules de deux poulaillers différents, toutes de même race, pondent depuis 6 mois en moyenne le même nombre d'oeufs chaque jour. On a dernièrement manqué de moulée pour les poules du deuxième poulailler; on a dû faire appel à une compagnie qui a pu en fournir immédiatement. On remarque après quelques jours que la ponte dans le deuxième poulailler a diminué de moitié. On se demande pourquoi la ponte a diminué dans ce poulailler. La meilleure supposition à faire serait:
- a. Les poules du deuxième poulailler ont reçu une moulée moins efficace.
 - b. La diminution du nombre d'oeufs pondus dans le deuxième poulailler est due à la composition de la nouvelle moulée.
 - c. Les poules du deuxième poulailler ont manqué de nourriture pendant un certain temps.
 - d. La compagnie n'a pas renseigné sur la quantité de moulée à donner aux poules.
 - e. La nouvelle moulée a causé une maladie chez les poules du deuxième poulailler.

La meilleure conclusion à tirer

12.

Direction du vent

	lundi	mardi	mercredi
à midi	nord-ouest	est	est
à minuit	ouest	ouest	calme

Dans le tableau ci-dessus, on a noté la direction du vent pendant un certain temps. En se basant sur ce tableau, quelle est la conclusion la plus générale que tu peux tirer ?

- Le vent d'ouest de cette région cause les nuits froides.
- La direction des vents est différente le jour et la nuit pour cette région.
- C'est une région où il vente beaucoup.
- C'est plus calme la nuit que le jour dans cette région.
- Le vent d'est souffle plus fort que le vent d'ouest dans cette région.

13. Voici une expérience réalisée sur la germination de graines de radis et de fèves.

Types de graines	Conditions de température	Nombre de graines germées sur 400
radis	20°C	375 sur 400
radis	25°C	370 sur 400
fèves	20°C	380 sur 400
fèves	25°C	280 sur 400

En te basant sur ces données seulement, quelle serait la meilleure conclusion à faire ?

- a. Les radis germent aussi bien à 25°C qu'à 20°C.
- b. La chaleur favorise la germination des graines.
- c. La germination des graines est indépendante de la température.
- d. Les radis germent plus vite que les fèves.
- e. À 25°C, les fèves germent moins bien que les radis.

14. On a noté dans un tableau la taille moyenne des enfants de première, deuxième et troisième années d'une école, et la différence de taille entre les années.

Année	Taille moyenne	Différence avec l'année précédente
1	115 cm	---
2	121 cm	6 cm
3	130 cm	9 cm

Quelle conclusion la plus générale peut-on tirer de ce tableau ?

- a. Les enfants de cette école sont assez grands et gros pour leur âge.
- b. Les enfants de cette école grandissent trop vite en troisième année.
- c. C'est entre la deuxième et la troisième année que ces enfants grandissent le plus.
- d. Ces enfants ont une taille normale pour leur poids.
- e. Ces enfants ont des tailles comparables à ceux des autres écoles.

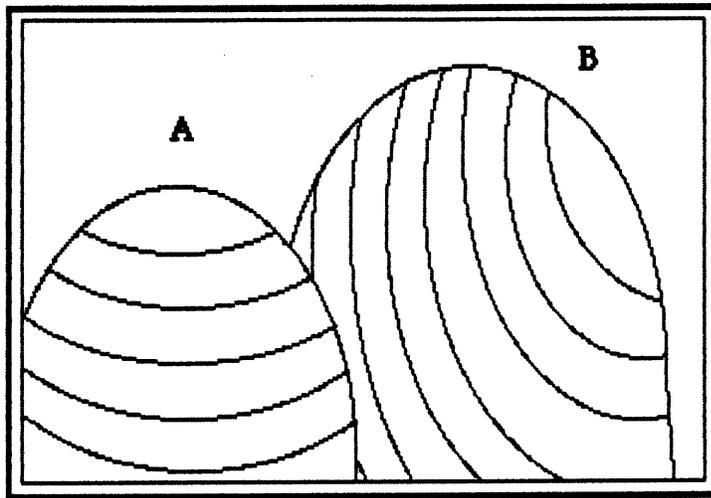
15. À la fin de l'année, un théâtre calcule le nombre de billets vendus dans les catégories suivantes:

Catégories	Billets vendus
pièces classiques françaises	2552
comédies musicales et opérettes	3280
pièces acadiennes	3998
pièces québécoises	3843
pièces traduites (anglaises et autres)	2324

Sans autre détail, quelle serait la meilleure conclusion à tirer de ces ventes de billets ?

- a. Il faudrait augmenter le nombre de représentations de pièces classiques pour en augmenter la vente des billets.
- b. Il s'est vendu plus de billets pour les pièces acadiennes.
- c. Les pièces acadiennes ont tenu l'affiche plus longtemps.
- d. Les prix des billets des pièces acadiennes sont plus abordables pour tous.
- e. On donne des représentations spéciales de pièces acadiennes et québécoises pour les écoles.

16. Voici deux montagnes côte-à-côte. On a labouré en A selon l'horizontale et en B selon la verticale. Après un orage, on a remarqué plus de dégâts en B qu'en A. Quelle serait la meilleure explication pour ce phénomène?



- a. Les labours verticaux favorisent plus de dégâts.
- b. Lors des orages, la montagne A est protégée par la montagne voisine B plus haute.
- c. Les hautes montagnes ont plus de dégâts après un orage que les basses montagnes.
- d. L'orage a été plus fort sur la montagne B.
- e. La température plus froide des hautes montagnes comme B amène plus de dégâts.

17. On a testé la durée de 50 ampoules pour chacun des trois types A, B et C. Le tableau résume les résultats obtenus.

types	durée	température
A	10 mois	130°C
B	12 mois	125°C
C	16 mois	115°C

Quelle est la meilleure conclusion à tirer de ces données ?

- a. Le grand nombre d'ampoules allumées a causé la haute température.
- b. Les ampoules A pourraient être dangereuses à cause de leur haute température.
- c. On ne peut conclure de ces données car on ne connaît ni la forme ni la fabrication de ces types d'ampoules.
- d. Les ampoules A devraient être utilisées si on veut produire de la chaleur.
- e. Les types d'ampoules dont la température est la plus élevée durent moins longtemps.

18. Voici un tableau représentant le pourcentage de bleuets non mûrs selon la date.

Pourcentages de bleuets non mûrs	30%	20%	10%
Période	deuxième semaine d'août	troisième semaine d'août	quatrième semaine d'août

On exige que les cageots (paniers) de bleuets ne contiennent pas plus de 25% de bleuets non mûrs. À quel moment devrait alors débuter la récolte?

- a. À la deuxième semaine d'août.
 - b. À la deuxième semaine et demie d'août.
 - c. À la troisième semaine d'août.
 - d. À la troisième semaine et demie d'août.
 - e. À la quatrième semaine d'août.
19. À quelle période les bleuets devraient-ils être tous mûrs ?
- a. À la quatrième semaine d'août.
 - b. À la quatrième semaine et demie d'août.
 - c. À la première semaine de septembre.
 - d. À la première semaine et demie de septembre.
 - e. À la deuxième semaine de septembre.

20. Voici des données concernant les dimensions des tiroirs de classeurs vendus par un marchand.

Profondeur des tiroirs (cm)	Nombre de dossiers par tiroir
30	20
45	30
60	40
75	50

Pour 25 dossiers, afin de ne pas perdre de place, il faudrait commander un classeur contenant des tiroirs de quelle profondeur ?

- a. 29 cm
- b. 32 cm
- c. 35 cm
- d. 38 cm
- e. 41 cm

21. Pour exactement 60 dossiers, quel serait le meilleur tiroir à commander ?

- a. 75 cm
- b. 80 cm
- c. 85 cm
- d. 90 cm
- e. 95 cm

La meilleure façon de procéder

Pour les deux questions qui suivent, tu réponds sur la deuxième feuille de réponse. Pour savoir comment répondre, lis bien l'exemple suivant.

Exemple:

Un marchand de tomates constate que son stock gardé dans la cave se conserve mieux qu'un autre gardé dans la boutique. Il avance l'idée suivante: à l'obscurité, les tomates se conservent mieux qu'à la lumière. Comment pourrait-on procéder pour vérifier cette idée ?

On veut étudier:

l'influence de la lumière sur la conservation des tomates

on aura besoin:

d'une quantité de tomates qu'on divisera en deux lots équivalents disposés dans des contenants semblables

on procédera de la façon suivante:

les deux lots de tomates seront entreposés dans des conditions identiques (contenants, humidité et température de la pièce), sauf pour les conditions d'éclairage: un lot sera exposé à la lumière et l'autre sera à l'obscurité; on comparera périodiquement l'état de conservation des deux lots de tomates et on pourra conclure sur l'influence de la lumière sur cette conservation.

22. On veut mettre au point une recette de gâteau dans laquelle entrent les ingrédients suivants: 2 oeufs, 1 tasse de sucre, 1/4 tasse de beurre, 1 tasse de farine et 1/2 tasse de lait.

Avec ces ingrédients, on se demande s'il vaudrait mieux ajouter 1 c. thé de poudre à pâte ou 1 c. thé de soda à pâte pour faire lever un tel gâteau. Comment pourrait-on procéder pour être en mesure de choisir la meilleure levure ?

23. Une compagnie produit deux détergents différents: A et B. Avant de les mettre sur le marché, on voudrait déterminer lequel use davantage le linge. Comment pourrais-tu procéder pour le déterminer ?

Tableau XXXI

Grille de correction appliquée aux items identification du problème du test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)

Sous-test: identification du problème

item	choix de réponse	comportements		score (maximum-3)
		identification du problème (non-0, implicite-1 explicite-2)	formulation générale (0,1)	
1	a	1	0	1
	b	2	1	3
	c	1	0	1
	d	1	0	1
	e	1	0	1
2	a	2	0	2
	b	1	0	1
	c	1	0	1
	d	1	0	1
	e	2	1	3
3	a	0	0	0
	b	1	0	1
	c	1	0	1
	d	2	1	3
	e	0	0	0
4	a	1	0	1
	b	1	0	1
	c	2	1	3
	d	0	0	0
	e	0	0	0
5	a	1	0	1
	b	1	0	1
	c	1	0	1
	d	1	0	1
	e	2	1	3
6	a	1	0	1
	b	1	0	1
	c	2	1	3
	d	1	0	1
	e	1	0	1

score maximum du sous-test = 18

Tableau XXXII

Grille de correction appliquée aux items formulation d'hypothèse(s) du test de raisonnement scientifique (d'après Demers et Allaire, 1987)

Sous-test: formulation d'hypothèse(s)						
item	choix de réponse	comportements			score relation	
		identification variable indépendante (0,1,2)	identification variable dépendante (0,1,2)	v.i./v.d. (0,1)		
1	a	1	2	0	3	
	b	1	2	0	3	
	c	1	2	0	3	
	d	1	2	1	4	
	e	0	2	0	2	
2	a	2	0	0	2	
	b	2	1	0	3	
	c	2	0	0	2	
	d	2	2	1	5	
	e	1	0	0	1	
3	a	2	2	1	5	
	b	2	2	0	4	
	c	2	2	0	4	
	d	2	0	0	2	
	e	2	1	0	2	
4	a	2	0	0	2	
	b	2	0	0	2	
	c	2	2	1	5	
	d	2	0	0	2	
	e	2	0	0	2	
5	a	2	1	0	3	
	b	2	2	1	5	
	c	0	0	0	0	
	d	1	0	0	1	
	e	2	0	0	2	

score maximum du sous-test = 24

Tableau XXXIII

Grille de correction appliquée aux items énonciation de la conclusion
(conclusion générale) du test de raisonnement scientifique
(d'après Demers et Allaire, 1987)

Sous-test: énonciation de la conclusion

item	choix de réponse	comportements				score (maximum-6)
		identification variable in- dépendante (0,1,2)	identification variable dé- pendante (0,1,2)	relation v.i./v.d. (0,1)	généralisa- tion (0,1)	
1	a	1	1	0	0	2
	b	2	2	1	1	6
	c	0	0	0	0	0
	d	2	0	0	0	2
	e	0	2	0	0	2
2	a	2	2	1	0	5
	b	2	2	0	0	4
	c	2	2	0	0	4
	d	0	2	0	0	2
	e	2	2	1	1	6
3	a	1	0	0	0	1
	b	2	2	1	0	5
	c	2	2	1	1	6
	d	0	0	0	0	0
	e	0	0	0	0	0
4	a	2	2	0	0	4
	b	2	2	1	1	6
	c	2	0	0	0	2
	d	2	0	0	0	2
	e	2	0	0	0	2
5	a	2	2	1	1	6
	b	0	2	0	0	2
	c	0	2	0	0	2
	d	0	2	0	0	2
	e	0	2	0	0	2
6	a	2	0	0	0	2
	b	2	0	0	0	2
	c	0	0	0	0	0
	d	2	0	0	0	2
	e	2	2	1	1	6

Tableau XXXIII (suite)
 Grille de correction appliquée aux items énonciation de la conclusion
 (interpolation et extrapolation) du test de raisonnement scientifique
 (d'après Demers et Allaire, 1987)

Sous-test: énonciation de la conclusion: interpolation/extrapolation

item	choix de réponse	estimation valeur de variable dépendante (0,1)	score (maximum-1)
1	a	0	0
	b	1	1
	c	0	0
	d	0	0
	e	0	0
2	a	0	0
	b	0	0
	c	1	1
	d	0	0
	e	0	0
3	a	0	0
	b	0	0
	c	0	0
	d	1	1
	e	0	0
4	a	0	0
	b	0	0
	c	0	0
	d	1	1
	e	0	0

score maximum du sous-test = 40

Appendice C

Caractéristiques individuelles des sujets et résultats aux épreuves
formelles et aux sous-tests de raisonnement scientifique

Tableau XXXIV

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
1	5 début	f	16:08	C4,P4		2
2	5 début	f	16:07	C4,P4	C5	2
3	5 début	m	16:07	C4		2
4	5 début	f	16:08	C4,P4	C5	3
5	5 début	f	16:08	C4,P4	C5,P5	3
6	5 début	m	16:10	B,C4,P4	C5,P5	3
7	5 début	f	16:02	C4	P4	2
8	5 début	f	17:01	C4		2
9	5 début	m	16:05	C4,P4	C5,P5	2
10	5 début	m	16:09	B,C4,P4		2
11	5 début	m	16:10	C4,P4	C5,P5	2
12	5 début	f	16:03	C4,P4	B,C5,P5	2
13	5 début	m	16:03	C4,P4	B,C5,P5	2
14	5 début	f	16:08	C4,P4	C5	2
15	5 début	m	16:03		B,P4	2
16	5 début	f	16:02	C4,P4	B,C5,P5	2
17	5 début	f	16:02	C4,P4	C5,P5	2
18	5 début	f	16:02	C4,P4	B,C5,P5	2
19	5 début	m	16:02	C4,P4	B,C5,P5	3
20	5 début	m	16:08	C4,P4	C5	3

Tableau XXXIV (suite)

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge,
cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
21	5 début	m	17:00	C4	P4	2
22	5 début	m	16:05	C4,P4	C5	2
23	5 début	m	16:07	C4,P4	C5,P5	2
24	5 début	f	16:03	C4,P4		1
25	5 début	f	16:05			1
26	5 début	m	16:09	P4	C4	3
27	5 début	m	16:10	C4,P4	B,C5	2
28	5 début	f	17:00	C4		1
29	5 début	f	16:07	C4,P4	B,C5,P5	3
30	5 début	f	16:09		C4	2
31	5 début	m	16:11	B,C4,P4	C5	2
32	5 début	f	16:09	C4,P4		2
33	5 début	f	16:03	C4,P4		2
34	5 début	f	16:05	C4		2
35	5 début	f	16:07	C4	C5	2
36	5 début	f	16:08	C4,P4	C5	2
37	5 début	m	16:07	C4,P4	B,C5,P5	3
38	5 début	f	16:02	P4	P5	2
39	5 début	m	17:00	C4,P4	B,C5,P5	3
40	5 début	m	16:09	C4,P4	B,C5,P5	3

Tableau XXXIV (suite)

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
41	5 début	f	16:11	C4,P4	B,C5,P5	3
42	5 début	f	16:08	C4,P4	C5	3
43	5 début	f	16:08	P4	B	3
44	5 début	m	16:09	C4,P4	C5,P5	3
45	5 début	m	16:11	C4,P4	B,C5,P5	3
46	5 début	f	16:08	C4,P4	C5,P5	3
47	5 début	m	16:07	C4,P4	C5,P5	3
48	5 début	m	16:07	C4,P4	C5	2
49	5 début	f	16:11	C4		2
50	5 début	m	16:04	C4		1
51	5 début	m	17:01	C4	B,P4	2
52	5 début	f	16:02	C4		1
53	5 début	m	17:00	C4		1
54	5 début	f	16:11		B	2
55	5 début	f	17:01	C4		1
56	5 début	f	16:10	C4		1
57	5 début	m	16:03	C4	B	1
58	5 fin	f	17:07			1
59	5 fin	f	16:11	C4	P4	1
60	5 fin	f	17:04			1

Tableau XXXIV (suite)

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
61	5 fin	f	17:03	C4	P4	1
62	5 fin	f	16:10	C4		1
63	5 fin	f	17:01			1
64	5 fin	m	17:05			1
65	5 fin	f	17:04	C4		1
66	5 fin	f	17:07			1
67	5 fin	m	17:07	B,C4		1
68	5 fin	m	17:03	C4		1
69	5 fin	m	17:05	C4		1
70	5 fin	f	16:10			1
71	5 fin	f	17:02			1
72	5 fin	m	16:08	C4		1
73	5 fin	m	17:04	C4,P4		2
74	5 fin	f	17:06	C4,P4	B,C5,P5	2
75	5 fin	m	16:08	P4	C4	2
76	5 fin	m	17:07	C4,P4		2
77	5 fin	f	17:02	C4,P4	C5	2
78	5 fin	f	16:07	C4,P4	B,C5,P5	2
79	5 fin	m	16:08	C4	P4	2
80	5 fin	f	17:00	P4		2

Tableau XXXIV (suite)

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
81	5 fin	m	17:01	C4,P4	C5	2
82	5 fin	m	17:04	C4,P4	C5	2
83	5 fin	m	17:00	B,P4	C4,P5	2
84	5 fin	f	17:05	C4	P4,C5	2
85	5 fin	m	16:10	C4,P4	B,C5,P5	2
86	5 fin	f	16:10	C4	P4	2
87	5 fin	f	17:04	C4,P4	B	2
88	5 fin	f	16:08	C4,P4		2
89	5 fin	f	17:00	C4	P4,C5	2
90	5 fin	m	16:09	C4,P4	C5	2
91	5 fin	m	16:10	C4,P4	C5	2
92	5 fin	m	17:02	C4,P4	P5	2
93	5 fin	f	17:05	C4,P4	B	2
94	5 fin	f	17:04	C4,P4		2
95	5 fin	f	17:03	C4,P4		2
96	5 fin	f	17:03	C4,P4	B	2
97	5 fin	m	17:02	C4,P4	B	2
98	5 fin	f	16:08	C4,P4	B	2
99	5 fin	m	17:01	C4	B,P4	2
100	5 fin	m	17:01	C4,P4		2

Tableau XXXIV (suite)

Caractéristiques des sujets: niveau scolaire, sexe, âge, cours de sciences suivis et voie en mathématiques

Sujet	Niveau scolaire	Sexe	Age	Cours de sciences suivis		Voie en mathématiques
				en sec. 4	en sec. 5	
101	5 fin	m	17:05	B,C4	P4	2
102	5 fin	f	16:11	C4	P4,C5	2
103	5 fin	f	17:01	C4,P4	B,C5	2
104	5 fin	m	17:05	C4,P4	B	2
105	5 fin	m	17:02	C4,P4	B,C5	2
106	5 fin	m	17:03	C4,P4	B	2
107	5 fin	f	16:09	C4,P4	B	2
108	5 fin	f	16:08	C4,P4	C5	2
109	5 fin	m	17:00	C4,P4	C5,P5	2
110	5 fin	m	16:11	C4,P4	B,C5,P5	3
111	5 fin	f	16:11	C4,P4	C5,P5	3
112	5 fin	f	17:02	C4,P4	C5,P5	3
113	5 fin	m	16:10	C4,P4	B,C5,P5	3
114	5 fin	f	17:02	C4,P4	C5,P5	3
115	5 fin	f	17:01	C4,P4	C5,P5	3
116	5 fin	m	16:11	C4,P4	P5	3
117	5 fin	m	16:08	C4,P4	B,C5,P5	3
118	5 fin	m	17:05	C4,P4	B,C5,P5	3
119	5 fin	f	16:11	C4,P4	C5,P5	3
120	5 fin	m	17:01	C4,P4	C5,P5	3
121	5 fin	m	17:04	C4,P4	B,C5,P5	3
122	5 fin	f	16:11	C4,P4	C5,P5	3
123	5 fin	f	17:02	C4,P4	C5,P5	3
124	5 fin	m	16:09	C4,P4	B	2

Tableau XXXV

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Epreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probsbi-	permuta-	implica-	problème	hypothèse	expérimentation	conclusion
1	3	2	3	2	8	19	11	36
2	3	3	3	3	18	22	8	34
3	3	3	3	3	6	16	9	40
4	3	2	3	2	16	18	6	35
5	2	3	3	2	10	21	8	34
6	2	3	3	3	18	19	11	36
7	3	1	1	1	8	12	15	34
8	3	3	3	3	15	21	15	38
9	3	2	2	1	12	20	12	20
10	3	2	3	1	8	18	12	40
11	2	2	3	1	5	24	8	32
12	3	1	2	1	9	20	13	27
13	3	2	3	3	18	21	15	34
14	2	1	2	1	8	14	10	31
15	2	3	3	3	-	17	11	36
16	3	3	3	3	18	15	16	31
17	2	3	2	2	12	19	14	36
18	1	3	2	3	17	24	14	20
19	3	3	3	3	18	24	10	35
20	3	3	3	2	14	14	13	38

Tableau XXV (suite)

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Épreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probabi- lités	permuta- tions	implica- tion	problème	hypothèse	expérimen- tation	conclusion
21	1	2	3	1	6	18	10	30
22	2	3	2	2	9	21	8	40
23	2	2	3	3	15	19	10	39
24	1	1	2	2	16	18	9	20
25	1	2	1	3	18	15	8	18
26	3	3	3	3	18	23	14	40
27	2	2	3	3	9	17	15	33
28	1	1	2	1	7	17	0	19
29	2	2	3	3	18	-	13	36
30	2	1	2	2	11	19	13	39
31	2	2	2	2	14	19	9	40
32	1	2	2	2	11	23	13	35
33	2	1	2	1	15	20	4	39
34	2	1	3	2	13	12	8	36
35	2	3	2	1	6	17	4	40
36	3	3	3	3	18	22	13	40
37	3	2	2	2	18	21	15	40
38	3	3	2	1	18	15	5	31
39	3	2	3	3	13	21	11	34
40	3	3	2	2	13	21	9	34

Tableau XXXV (suite)

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Épreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probabi- lités	permuta- tions	implica- tion	problème	hypothèse	expérimen- tation	conclusion
41	2	2	3	3	16	24	15	36
42	3	3	3	3	18	19	15	39
43	2	1	2	2	15	14	10	38
44	3	3	3	3	18	23	14	-
45	3	3	3	3	18	19	16	32
46	3	3	3	2	15	24	14	40
47	2	2	3	1	13	22	16	40
48	3	2	3	2	18	20	7	36
49	2	3	3	3	18	21	9	36
50	3	3	2	1	4	11	10	33
51	3	1	3	2	9	23	7	29
52	1	1	2	1	11	21	9	25
53	2	2	2	2	10	20	3	35
54	2	1	2	1	9	17	6	34
55	2	3	1	1	9	18	5	38
56	1	1	2	2	7	21	7	33
57	3	2	3	3	16	14	2	33
58	3	2	3	2	16	21	11	34
59	2	2	2	1	16	18	9	26
60	1	2	2	2	-	-	3	29

Tableau XXXV (suite)

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Épreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probabi- lités	permuta- tions	implica- tion	problème	hypothèse	expérimen- tation	conclusion
61	2	2	1	1	18	19	4	30
62	1	1	2	1	8	18	8	34
63	3	2	3	1	13	15	13	28
64	2	2	3	3	6	20	14	36
65	2	1	2	1	14	20	6	34
66	2	1	2	1	11	16	6	18
67	2	2	3	3	12	23	10	35
68	3	2	1	2	15	13	13	26
69	2	1	2	2	16	19	14	26
70	1	1	3	2	13	20	8	32
71	2	1	3	1	6	12	11	32
72	2	1	2	1	13	2	19	28
73	2	2	3	1	5	18	9	36
74	3	3	2	1	18	16	11	36
75	3	3	2	3	18	18	14	36
76	2	1	3	2	7	19	6	32
77	2	1	2	2	16	22	14	34
78	2	3	3	3	18	24	11	36
79	2	3	3	2	16	23	14	27
80	2	1	2	1	13	20	12	34

Tableau XXXV (suite)

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Épreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probabi- lités	permuta- tions	implica- tion	problème	hypothèse	expérimen- tation	conclusion
81	3	3	2	1	18	21	14	34
82	3	2	2	2	11	17	11	32
83	3	3	3	3	7	19	13	36
84	2	2	2	1	17	22	10	35
85	3	3	3	2	18	18	9	30
86	2	2	3	3	6	20	9	27
87	2	2	3	1	13	14	0	29
88	2	2	2	3	18	-	14	35
89	2	2	2	3	15	21	15	34
90	2	2	3	3	10	24	9	35
91	3	3	3	1	10	21	10	29
92	3	1	3	1	11	21	11	36
93	2	2	2	3	12	19	15	28
94	2	2	3	2	10	14	7	32
95	2	2	3	1	18	21	16	29
96	2	2	3	2	14	15	14	28
97	3	2	3	3	18	24	13	36
98	2	2	2	1	18	24	13	34
99	3	2	3	1	17	12	9	30
100	3	3	2	2	9	15	13	34

Tableau XXXV (suite)

Stade opératoire obtenu aux épreuves formelles: équilibre de la balance, quantification des probabilités, permutations de jetons et implication et résultats aux sous-tests de raisonnement scientifique: identification du problème, formulation d'hypothèse, planification de l'expérimentation et énonciation de la conclusion

Sujet	Epreuves formelles: stades			Raisonnement scientifique: scores				
	balance	probabi- lités	permuta- tions	implica- tion	problème	hypothèse	expérimen- tation	conclusion
101	2	2	3	2	11	20	6	40
102	2	2	2	1	18	21	10	29
103	2	3	2	3	18	14	10	39
104	3	3	3	2	12	20	12	40
105	2	3	3	2	14	18	12	34
106	3	2	2	3	18	22	16	25
107	3	2	3	3	16	15	14	30
108	3	1	3	2	18	17	14	35
109	3	3	3	3	13	14	12	32
110	3	3	3	3	17	-	11	40
111	3	3	3	3	18	24	11	36
112	3	3	3	3	18	20	13	35
113	3	3	3	2	18	22	6	37
114	3	3	3	3	16	21	14	36
115	2	2	2	1	16	16	10	29
116	3	2	2	1	6	21	12	40
117	3	3	3	2	12	24	12	35
118	3	3	3	3	18	24	14	40
119	3	2	2	3	14	20	12	38
120	3	3	3	3	16	22	9	40
121	3	3	2	3	15	21	10	30
122	3	3	2	2	16	14	10	36
123	3	3	3	3	10	14	17	35
124	2	3	2	1	12	24	11	30

Appendice D

Résultats complémentaires aux analyses multivariées

Tableau XXXVI

Corrélations et écarts-types (sur la diagonale) à l'intérieur des groupes formés par les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe pour chaque sous-test de raisonnement scientifique

Mesures	Problème	Hypothèse	Expérimentation	Conclusion
Problème	3,81			
Hypothèse	0,18	3,37		
Expérimentation	0,18	0,17	3,35	
Conclusion	-0,10	-0,06	-0,20	4,77

Tableau XXXVII

Variances et covariances à l'intérieur des groupes formés par les facteurs: stade opératoire, fréquentation des cours de sciences et sexe pour chaque sous-test de raisonnement scientifique

Mesures	Problème	Hypothèse	Expérimentation	Conclusion
Problème	14,49			
Hypothèse	2,33	11,36		
Expérimentation	2,33	1,89	11,21	
Conclusion	-1,77	-1,04	-3,19	22,72

Tableau XXXVIII

Corrélations et écarts-types (sur la diagonale) à l'intérieur des groupes formés par le facteur stade observé à l'épreuve d'implication pour chaque sous-test de raisonnement scientifique

Mesures	Problème	Hypothèse	Expérimentation	Conclusion
Problème	4,19			
Hypothèse	0,13	3,28		
Expérimentation	0,21	0,14	3,27	
Conclusion	-0,08	-0,06	-0,19	4,61

Tableau XXXIX

Variances et covariances à l'intérieur des groupes formés par le facteur stade observé à l'épreuve d'implication pour chaque sous-test de raisonnement scientifique

Mesures	Problème	Hypothèse	Expérimentation	Conclusion
Problème	17,57			
Hypothèse	1,77	10,77		
Expérimentation	2,94	1,47	10,67	
Conclusion	-1,49	-0,90	-2,89	21,27