

BF
20.5
UL
1996
C 854

GINO COUDÉ

**DISCONTINUITÉ STRUCTURALE ET NIVEAUX DE DÉVELOPPEMENT:
ANALYSE DES ISOMORPHISMES ENTRE DOMAINES COGNITIFS DISTINCTS**

Mémoire
présenté
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de maître en psychologie (M.Ps.)

École de Psychologie
FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES
UNIVERSITÉ LAVAL

MAI 1996

© Gino Coudé, 1996





National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services Branch

Direction des acquisitions et
des services bibliographiques

395 Wellington Street
Ottawa, Ontario
K1A 0N4

395, rue Wellington
Ottawa (Ontario)
K1A 0N4

Your file *Votre référence*

Our file *Notre référence*

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-612-14103-9

Canada

Nom GINO COUDÉ

Dissertation Abstracts International est organisé en catégories de sujets. Veuillez s.v.p. choisir le sujet qui décrit le mieux votre thèse et inscrivez le code numérique approprié dans l'espace réservé ci-dessous.

PSYCHOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT

SUJET

0620 U·M·I

CODE DE SUJET

Catégories par sujets

HUMANITÉS ET SCIENCES SOCIALES

COMMUNICATIONS ET LES ARTS

Architecture	0729
Beaux-arts	0357
Bibliothéconomie	0399
Cinéma	0900
Communication verbale	0459
Communications	0708
Danse	0378
Histoire de l'art	0377
Journalisme	0391
Musique	0413
Sciences de l'information	0723
Théâtre	0465

ÉDUCATION

Généralités	515
Administration	0514
Art	0273
Collèges communautaires	0275
Commerce	0688
Economie domestique	0278
Education permanente	0516
Education préscolaire	0518
Education sanitaire	0680
Enseignement agricole	0517
Enseignement bilingue et multiculturel	0282
Enseignement industriel	0521
Enseignement primaire	0524
Enseignement professionnel	0747
Enseignement religieux	0527
Enseignement secondaire	0533
Enseignement spécial	0529
Enseignement supérieur	0745
Évaluation	0288
Finances	0277
Formation des enseignants	0530
Histoire de l'éducation	0520
Langues et littérature	0279

Lecture	0535
Mathématiques	0280
Musique	0522
Orientation et consultation	0519
Philosophie de l'éducation	0998
Physique	0523
Programmes d'études et enseignement	0727
Psychologie	0525
Sciences	0714
Sciences sociales	0534
Sociologie de l'éducation	0340
Technologie	0710

LANGUE, LITTÉRATURE ET LINGUISTIQUE

Langues	
Généralités	0679
Anciennes	0289
Linguistique	0290
Modernes	0291
Littérature	
Généralités	0401
Anciennes	0294
Comparée	0295
Médiévale	0297
Moderne	0298
Africaine	0316
Américaine	0591
Anglaise	0593
Asiatique	0305
Canadienne (Anglaise)	0352
Canadienne (Française)	0355
Germanique	0311
Latino-américaine	0312
Moyen-orientale	0315
Romane	0313
Slave et est-européenne	0314

PHILOSOPHIE, RELIGION ET THÉOLOGIE

Philosophie	0422
Religion	
Généralités	0318
Clergé	0319
Études bibliques	0321
Histoire des religions	0320
Philosophie de la religion	0322
Théologie	0469

SCIENCES SOCIALES

Anthropologie	
Archéologie	0324
Culturelle	0326
Physique	0327
Droit	0398
Economie	
Généralités	0501
Commerce-Affaires	0505
Economie agricole	0503
Economie du travail	0510
Finances	0508
Histoire	0509
Théorie	0511
Études américaines	0323
Études canadiennes	0385
Études féministes	0453
Folklore	0358
Géographie	0366
Gérontologie	0351
Gestion des affaires	
Généralités	0310
Administration	0454
Banques	0770
Comptabilité	0272
Marketing	0338
Histoire	
Histoire générale	0578

Ancienne	0579
Médiévale	0581
Moderne	0582
Histoire des noirs	0328
Africaine	0331
Canadienne	0334
États-Unis	0337
Européenne	0335
Moyen-orientale	0333
Latino-américaine	0336
Asie, Australie et Océanie	0332
Histoire des sciences	0585
Loisirs	0814
Planification urbaine et régionale	0999
Science politique	
Généralités	0615
Administration publique	0617
Droit et relations internationales	0616
Sociologie	
Généralités	0626
Aide et bien-être social	0630
Criminologie et établissements pénitentiaires	0627
Démographie	0938
Études de l'individu et de la famille	0628
Études des relations interethniques et des relations raciales	0631
Structure et développement social	0700
Théorie et méthodes	0344
Travail et relations industrielles	0629
Transports	0709
Travail social	0452

SCIENCES ET INGÉNIERIE

SCIENCES BIOLOGIQUES

Agriculture	
Généralités	0473
Agronomie	0285
Alimentation et technologie alimentaire	0359
Culture	0479
Élevage et alimentation	0475
Exploitation des péturages	0777
Pathologie animale	0476
Pathologie végétale	0480
Physiologie végétale	0817
Sylviculture et faune	0478
Technologie du bois	0746
Biologie	
Généralités	0306
Anatomie	0287
Biologie (Statistiques)	0308
Biologie moléculaire	0307
Botanique	0309
Cellule	0379
Écologie	0329
Entomologie	0353
Généétique	0369
Limnologie	0793
Microbiologie	0410
Neurologie	0317
Océanographie	0416
Physiologie	0433
Radiation	0821
Science vétérinaire	0778
Zoologie	0472
Biophysique	
Généralités	0786
Médicale	0760

Géologie	0372
Géophysique	0373
Hydrologie	0388
Minéralogie	0411
Océanographie physique	0415
Paléobotanique	0345
Paléocologie	0426
Paléontologie	0418
Paléozoologie	0985
Palynologie	0427

SCIENCES DE LA SANTÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT

Économie domestique	0386
Sciences de l'environnement	0768
Sciences de la santé	
Généralités	0566
Administration des hôpitaux	0769
Alimentation et nutrition	0570
Audiologie	0300
Chimiothérapie	0992
Dentisterie	0567
Développement humain	0758
Enseignement	0350
Immunologie	0982
Loisirs	0575
Médecine du travail et thérapie	0354
Médecine et chirurgie	0564
Obstétrique et gynécologie	0380
Ophtalmologie	0381
Orthophonie	0460
Pathologie	0571
Pharmacie	0572
Pharmacologie	0419
Physiothérapie	0382
Radiologie	0574
Santé mentale	0347
Santé publique	0573
Soins infirmiers	0569
Toxicologie	0383

SCIENCES PHYSIQUES

Sciences Pures	
Chimie	
Généralités	0485
Biochimie	487
Chimie agricole	0749
Chimie analytique	0486
Chimie minérale	0488
Chimie nucléaire	0738
Chimie organique	0490
Chimie pharmaceutique	0491
Physique	0494
Polymères	0495
Radiation	0754
Mathématiques	0405
Physique	
Généralités	0605
Acoustique	0986
Astronomie et astrophysique	0606
Électronique et électricité	0607
Fluides et plasma	0759
Météorologie	0608
Optique	0752
Particules (Physique nucléaire)	0798
Physique atomique	0748
Physique de l'état solide	0611
Physique moléculaire	0609
Physique nucléaire	0610
Radiation	0756
Statistiques	0463

Biomédicale	0541
Chaleur et thermodynamique	0348
Conditionnement (Emballage)	0549
Génie aérospatial	0538
Génie chimique	0542
Génie civil	0543
Génie électronique et électrique	0544
Génie industriel	0546
Génie mécanique	0548
Génie nucléaire	0552
Ingénierie des systèmes	0790
Mécanique navale	0547
Métallurgie	0743
Science des matériaux	0794
Technique du pétrole	0765
Technique minière	0551
Techniques sanitaires et municipales	0554
Technologie hydraulique	0545
Mécanique appliquée	0346
Géotechnologie	0428
Matières plastiques (Technologie)	0795
Recherche opérationnelle	0796
Textiles et tissus (Technologie)	0794

Sciences Appliqués Et Technologie

Informatique	0984
Ingénierie	
Généralités	0537
Agricole	0539
Automobile	0540

PSYCHOLOGIE

Généralités	0621
Personnalité	0625
Psychobiologie	0349
Psychologie clinique	0622
Psychologie du comportement	0384
Psychologie du développement	0620
Psychologie expérimentale	0623
Psychologie industrielle	0624
Psychologie physiologique	0989
Psychologie sociale	0451
Psychométrie	0632



TABLE DES MATIÈRES

	Page
Liste des tableaux.....	iii
Liste des figures	iv
Avant-propos.....	v
Résumé	vi
Introduction	1
Chapitre I: Le cadre théorique piagétien	3
1.1 Les fondements de l'approche piagétienne.....	3
1.2 Les niveaux de structuration de la pensée.....	4
1.2.1 Les stades de développement de l'intelligence représentative.....	5
1.3 Les critiques associées aux notions de structures d'ensemble et de stade.....	8
1.4 Les théories néo-piagésiennes	10
1.6 Les apports et les limites des théories néo-piagésiennes.....	12
1.7 Les problèmes des décalages	13
1.8 Les critères de stades	17
1.8.1 La recherche d'invariants	17
1.9 Les objectifs de cette recherche.....	19
Chapitre II: Le traitement des données et les caractéristiques du développement.....	22
2.1 Les problèmes associés à l'utilisation de l'analyse factorielle en développement cognitif	22
2.2 Les caractéristiques de l'échelle de Guttman.....	23
2.3 La théorie de réponse aux items.....	24
2.3.1 Le modèle de Rasch	25

	Page
Chapitre III: Méthode.....	28
3.1 Échantillon.....	29
3.2 Instruments.....	29
3.2.1 L'Épreuve des <i>Concentrations</i>	30
3.2.2 L'Épreuve des <i>Coffrets</i>	32
3.2.3 L'Épreuve <i>Vues Orthogonales Codées</i>	34
Chapitre IV: L'analyse structurale des épreuves.....	36
4.1 La période opératoire concrète.....	37
4.1.1 La pensée opératoire concrète dans les trois épreuves.....	37
4.1.2 Les phases de composition de la période opératoire concrète.....	39
4.2 La période opératoire formelle.....	43
4.2.1 La pensée opératoire formelle dans les trois épreuves.....	44
4.2.2 Les phases de composition de la période opératoire formelle.....	45
Chapitre V: Résultats.....	51
5.1 Les analyses de Rasch.....	51
5.1.1 Les analyses de Rasch effectuées sur chacune des épreuves.....	53
5.1.2 Les analyses de Rasch effectuées sur les épreuves groupées.....	55
5.1.3 Conclusions.....	63
Chapitre VI: Discussion.....	65
6.1 Les critères de stades.....	65
6.1.1 Les niveaux de développement.....	66
6.1.2 Les phases de coordination.....	67
6.2 Les périodes et phases dans trois épreuves.....	68
6.3 La généralité des niveaux de développement.....	70
6.4 Les relations entre les domaines logico-mathématique et infra-logique.....	71
Conclusions.....	73
Références.....	76

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Items et niveaux de développement à <i>Concentrations</i>	31
Tableau 2. Items et niveaux de développement à <i>Coffrets</i>	33
Tableau 3. Items et niveaux de développement à <i>Vues Orthogonales Codées</i>	35
Tableau 4. Les items de niveau 2A	39
Tableau 5. Les items de niveau 2B	41
Tableau 6. Les items de niveau 2C	42
Tableau 7. Les items de niveau 3A	46
Tableau 8. Les items de niveau 3B	48
Tableau 9. Les items de niveau 3C	49
Tableau 10. Analyse de Rasch pour <i>Concentrations</i>	53
Tableau 11. Analyse de Rasch pour <i>Coffrets</i>	54
Tableau 12. Analyse de Rasch pour <i>Vues Orthogonales Codées</i>	55
Tableau 13. Analyse de Rasch des 3 épreuves: statistiques d'item par ordre de mesure ..	56
Tableau 14. Analyse de Rasch pour <i>Concentrations</i> et <i>Coffrets</i> : statistiques d'items par ordre de mesure	59
Tableau 15. Statistiques d'items par ordre de mesure pour <i>Concentrations</i> et <i>Vues Orthogonales Codées</i>	61
Tableau 16. Analyse de Rasch de <i>Coffrets</i> et <i>Vues Orthogonales Codées</i> : statistiques des items par ordre de mesure	62

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Échelle parfaite de Guttman	24
Figure 2. Courbe logistique à un paramètre.....	25
Figure 3. Modèle d'item de <i>Concentrations</i>	30
Figure 4. Exemple d'item de <i>Coffrets</i>	32
Figure 5. Analyse de Rasch pour les trois épreuves: hiérarchie de difficulté des items.....	57
Figure 6. Diagramme des valeurs infit et outfit pour les trois épreuves	58
Figure 7. Analyse de Rasch pour <i>Concentrations</i> et <i>Coffrets</i> : hiérarchie de difficulté des items	60
Figure 8. Analyse de Rasch de <i>Concentrations</i> et <i>Vues Orthogonales Codées</i> : hiérarchie de difficulté des items.....	61
Figure 9. Analyse de Rasch de <i>Coffrets</i> et <i>Vues Orthogonales Codées</i> : hiérarchie de difficulté des items	63

AVANT-PROPOS

Je désire exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur, Monsieur Gérard Noelting, qui a été plus qu'un guide et avec qui j'ai eu de passionnantes discussions. Je le remercie pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour l'amitié qu'il me témoigne.

Je remercie également Monsieur Jean-Pierre Rousseau dont les précieux conseils et les encouragements ont joué un rôle clé dans la progression de ce travail. Je souligne, de même, l'amabilité de Madame Marie-Lise Brunel et Monsieur Jean-Guy Boudrault de l'Université du Québec à Montréal, qui ont bien voulu me fournir les données qui font l'objet de cette recherche.

RÉSUMÉ

Cette recherche porte sur la comparaison des niveaux de développement de trois épreuves cognitives de type piagétien: l'Épreuve des *Concentrations* portant sur la comparaison de rapports numériques, l'Épreuve des *Coffrets* portant sur un problème de logique propositionnelle, et *Vues Orthogonales Codées* portant sur la reproduction par dessin, à l'aide de codes, de formes géométriques tridimensionnelles. Les deux premières sont de nature logico-arithmétique, la dernière géométrique. Elles sont toutes les trois soumises à 365 jeunes adultes de secondaire IV. Les données sont traitées conjointement par une analyse de Rasch, afin de vérifier l'ordre de difficulté des items et leur unidimensionalité, et une analyse structurale, afin de décrire des niveaux de développement pour les items des trois épreuves. Des critères de niveaux sont déterminés, permettant de modéliser le développement cognitif sous forme de niveaux d'appréhension de plus en plus complexes des composantes d'une tâche cognitive.

Gérald Noelting
Directeur

Gino Coudé
Étudiant gradué

INTRODUCTION

La nature du développement de la connaissance soulève beaucoup de discussions, que ce soit sur le plan ontogénique ou phylogénique. Les querelles entre innéistes et nativistes ou entre rationalistes et empiristes en témoignent. Les théories du développement cognitif sont encore aujourd'hui liées à des traditions de recherche inscrites dans des grands courants philosophiques qui se sont intéressés au Savoir. Parmi les théories qui s'intéressent aujourd'hui au développement de la connaissance, l'on reconnaît deux principales traditions: empiriste et rationaliste. L'approche piagétienne, qui retiendra notre attention, est héritière de la seconde tradition.

Aucune théorie du développement cognitif n'a eu autant d'impact que celle de Piaget. L'ampleur de cette théorie est remarquable par son statut épistémologique, qui s'intéresse à la nature de la connaissance, et lui donne un caractère multidisciplinaire.

Dans un vaste programme de recherche, Piaget élaborera avec ses collaborateurs une méthodologie qui leur est propre, mais aussi et surtout, une façon de voir le développement de l'individu. Ces particularités donneront naissance à l'École genevoise, dont les travaux, au terme de plusieurs décennies de réflexion et d'expérimentations, aboutiront à des résultats surprenants et souvent contraires à l'intuition. Les milieux scientifiques entreprirent dès lors des recherches visant à reproduire les résultats genevois les plus spectaculaires.

Afin d'expliquer la cohérence qui existe entre les conduites des enfants devant divers problèmes, Piaget introduit une structure cognitive générale qui détermine la résolution de tâche au delà des domaines concernés. Rapidement, des recherches ont rapporté des résultats divergeant de cet aspect de la théorie. Ces recherches ont quelques fois été stimulées par des conclusions hâtives comme le font remarquer Rieben, de Ribaupierre & Lautrey (1983), voire même par une vision distorsionnée de la théorie piagétienne selon Beilin (1992b). Les résultats de Piaget n'ont ainsi pas tous été reproduits, mais la richesse de la théorie piagétienne fait qu'elle reste actuelle.

Un autre aspect de la théorie, mais cette fois-ci négligé, est celui des critères de stades. Piaget préférait les exemples de conduites et les explications formelles aux critères de stade. Bien que les stades soient décrits d'une manière très élaborée et que les exemples de conduites typiques abondent dans ses écrits, il demeure néanmoins difficile d'identifier le niveau de développement que nécessite la réussite d'une tâche donnée. La question des critères de stade n'intéresse cependant pas Piaget (1967) qui insiste plutôt sur les opérations en jeu, les structures cognitives et les mécanisme du développement, afin que les stades ne soient pas considérés comme une nomenclature des degrés d'accroissement de l'intelligence. Ses travaux plus récents entrepris avec Garcia (Piaget & Garcia, 1971 & 1983) offrent cependant un cadre d'analyse plus compatible avec l'établissement de critères de stade, mais encore insuffisamment exploité.

La théorie de Piaget demeure marquante en soit, par le cadre conceptuel qu'elle offre à l'étude du développement de la connaissance. Chapman souligne à cet effet:

«If the signifiante of a theory is measured, not by its completeness, but in the importance of the problems that it poses, then Piaget's work remains significant indeed. There can be no doubt that he left psychology with many problems and that those problems have lost none of their importance in the 1990s» (1992, pp. 39-40).

Le cadre piagétien reste toujours fertile en ce qui concerne l'étude du développement cognitif. C'est pourquoi nous nous intéressons aux stades de développement et aux parentés structurales qui existent entre tâches cognitives.

CHAPITRE I

LE CADRE THÉORIQUE PIAGÉTIEN

Il importe de souligner le travail constant d'ajustement et de révision qu'entreprend Piaget au cours de soixante années de réflexion et d'expérimentation. Plusieurs changements sont survenus et ce, jusqu'à la fin de sa vie. Il est néanmoins remarquable que l'idée centrale de stades et d'équilibration ait guidé Piaget dans son travail depuis les débuts. Nous nous pencherons donc sur l'interactionnisme sujet-objet, sur le concept de stade et de *structure d'ensemble*, qui occupent une place importante au sein de la théorie piagétienne.

1.1 Les fondements de l'approche piagétienne

L'épistémologie génétique se fonde sur une approche constructiviste du développement de la connaissance (Vuyk, 1981). On peut retracer, chez l'apriorisme de Kant, l'idée de la construction des expériences sur la base des structures construites par le sujet (nécessité, causalité, temps et espace) (Vuyk, 1981; Phillips, 1982; Case, 1987). Cette vision interactionniste de l'individu et de l'environnement a de particulier qu'elle postule une activité propre au sujet qui dépasse la simple perception. Dans une certaine mesure, chez Kant, mais surtout chez Piaget, c'est un processus de structuration ou de mise en ordre via l'activité structurante du sujet qui rend l'environnement intelligible.

L'action du sujet détient un rôle de premier plan dans une approche constructiviste comme celle de Piaget. C'est d'ailleurs selon lui ce qui différencie le constructivisme de l'empirisme et de l'apriorisme qu'il rejette:

«...la connaissance ne saurait être conçue comme prédéterminée ni dans les structures internes du sujet, puisqu'elles résultent d'une construction effective et continue, ni dans les caractères préexistants de l'objet, puisqu'ils ne sont connus que grâce à la médiation nécessaire de

ces structures et que celles-ci les enrichissent en les encadrant (ne serait-ce qu'en les situant dans l'ensemble des possibles)» (Piaget, 1970, p.5).

Le constructivisme piagétien est donc plus axé sur le rôle du sujet comme agent de structuration de la pensée que ne l'est l'apriorisme kantien. Piaget remplace la question de Kant *Comment la connaissance est-elle possible?* par une question qui reflète bien sa démarche proprement constructiviste, *Comment la connaissance est-elle construite et transformée durant l'ontogenèse?* (Inhelder, 1992).

Ce type de questionnement confère une vision particulière à l'épistémologie génétique, qui voit l'enfant comme un jeune scientifique qui construit des théories sur le monde de plus en plus valides. L'objet d'étude consiste en cette transition qui s'effectue à partir d'une connaissance donnée, vers cette connaissance toujours plus valide. Son objectif est de cerner la nature des instruments cognitifs dont dispose le sujet, les processus qui permettent leur acquisition, et le type de connaissance auxquels ils permettent d'accéder. La théorie piagétienne tente ainsi d'expliquer comment se construit et se transforme la connaissance; elle vise ainsi à mettre en lumière les éléments responsables de la structuration de la pensée, de même que leurs changements au cours du développement.

1.2 Les niveaux¹ de structuration de la pensée

La construction de la connaissance et son développement permettent de différencier et de coordonner les opérations en systèmes toujours plus cohérents. En certains points, ces systèmes ou structures atteignent une certaine stabilité. Ces étapes, où le système opératoire se caractérise par une stabilité et des propriétés accrues, correspondent aux stades de développement.

Les stades ne doivent pas être simplement conçus comme des accroissements successifs; chaque stade réorganise les instruments de la connaissance utilisés au stade précédent. Ils sont le résultat du processus d'interaction visant l'*adaptation*, c'est-à-dire un plus grand équilibre entre l'organisme et l'environnement. Chez Piaget et Inhelder (1941), la notion de stade se caractérise par les cinq propriétés suivantes: 1) l'ordre de succession des stades doit être invariant: c'est-à-dire que si une conduite A apparaît avant une conduite B chez un certain nombre de sujets, il en sera de même chez tous les autres sujets (nous verrons plus

¹ Les termes niveau et période sont utilisés dans le texte avec une signification proche de celle de stades. Le terme stade est réservé aux stades proprement piagétiens, celui de période aux stades que nous décrivons et celui de niveau est préférablement utilisé en ce qui concerne les items.

loin la conséquence que peut avoir ce critère en ce qui concerne les décalages); 2) le stade a un caractère intégratif: les structures construites à un âge donné deviennent partie intégrante des structures à un âge suivant; 3) le stade se caractérise par une forme particulière d'équilibre; 4) le stade comporte un niveau de préparation et d'achèvement, il y a des sous-stades qui correspondent à des niveaux de stabilité successifs de l'organisation cognitive; 5) le stade se caractérise par une *structure d'ensemble*. La logique des classes caractérise la *structure d'ensemble* des opérations concrètes et la logique des propositions, celle des opérations formelles.

La *structure d'ensemble* correspond à la structure commune que partagent les conduites d'un niveau développemental donné. La notion de *structure d'ensemble* soulève des controverses et est discutée à la section 1.4.

1.2.1 Les stades de développement de l'intelligence représentative

Avant le développement de la représentation mentale, l'intelligence demeure pratique et centrée sur l'action. Le développement de la pensée représentative, qui permet de résoudre des problèmes complexes, est décrit à travers quatre périodes (Piaget, 1967).

La pensée symbolique

La pensée symbolique, aussi appelée pensée préconceptuelle (2 à 4 ans environ) est la première étape de la période préopératoire, et coïncide avec l'accession à la représentation et avec l'apparition du langage. L'enfant raisonne en utilisant des préconcepts qui constituent des notions reliées aux signes verbaux, qu'il acquiert au contact des situations. Ceci donne lieu à un raisonnement analogique qui n'est pas basé sur des emboîtements complets de classe: ce sont les *transductions*. La pensée de ce stade demeure égocentrique, et donc, ne permet pas au sujet d'envisager un point de vue autre que le sien. Les concepts généraux et les cas particuliers ne sont pas encore distingués et en conséquence, le raisonnement se caractérise par la surgénéralisation et par une centration sur le point de vue du sujet.

La pensée intuitive

Vers 4 à 7 ans, la pensée est centrée sur ce qui est perçu. Une coordination graduelle des représentations permet des régulations intuitives. Ainsi, on observe des centrations sur

des états, qui ne sont pas reliés entre eux par des transformations, car les opérations logiques ne sont pas maîtrisées. Ce type de raisonnement repose sur l'apparence et ne permet pas de structurer adéquatement les données, faute d'opération. La pensée est cependant mieux articulée qu'au stade symbolique, car un début de structuration permet des régulations qui ne sont encore cependant que des centrations successives sur des états. Le système de transformations faisant défaut, il n'est pas encore possible de relier entre eux les états. En conséquence, les évaluations de la conservation de la substance, du nombre, et de la longueur, par exemple, seront limitées à des centrations sur un seul aspect.

L'absence d'opération se reflète par des déficits en logique des relations. Par exemple, en ce qui concerne l'ordination d'objets, si B est qualifié par l'enfant de grand par rapport à A, il sera pour lui difficile de voir B ensuite comme petit par rapport à un objet encore plus grand C. L'absence d'opération est visible également en logiques des classes, d'où l'impossibilité de concevoir un objet appartenant à plusieurs classes à la fois.

Les opérations concrètes

La pensée opératoire concrète (7 à 12 ans) est la première forme de pensée à s'appuyer sur des opérations. Les opérations sont cependant concrètes, car elles portent sur des objets manipulables. Elles se forment lorsque les actions intériorisées du sujet se regroupent entre elles, formant une *structure d'ensemble*, composée d'opérations réversibles, interreliées et interdépendantes. La première manifestation de la pensée logique est la constitution de groupements d'opérations concrètes (de classes et de relations). Les opérations donnent au sujet la capacité de structurer d'emblée les données d'un problème, afin de raisonner sur les caractéristiques pertinentes au problème. Elles permettent de coordonner les divers états de la situation à laquelle le sujet est confronté, au lieu de procéder de proche en proche, c'est à dire centrer son action sur les variables qui semblent jouer un rôle important.

La pensée opératoire concrète est réversible, contrairement à la pensée intuitive. Les actions mentales peuvent ainsi être opérées en sens inverse, donc être mentalement effectuées: par exemple des opérations de classifications réversibles.

Avec la capacité de changer de *point de vue* et de se décentrer des états d'une situation, la pensée concrète conduit à une connaissance beaucoup plus valide que celle des stades précédents. Son apparition résulte, pour Piaget, des mécanismes de régulations de la

pensée qui conduisent à une décentration progressive par rapport au point de vue propre et à la configuration actuelle des données d'un problème. Sa caractéristique essentielle est de s'appuyer sur la réversibilité opératoire, qui représente l'aboutissement des régulations antérieures. C'est en effet cette réversibilité des actions intériorisées, qui permet de promouvoir les actions au rang d'opérations déductives. Le raisonnement porte sur la réalité.

Les opérations formelles

La pensée formelle (12 ans à l'adulte) constitue, pour Piaget, l'équilibre terminal des opérations: c'est-à-dire le résultat de la structuration progressive des actions et opérations de l'intelligence. Elle présente certaines caractéristiques qui la distinguent de la pensée opératoire concrète: 1) Elle s'appuie sur un système d'opérations portant sur les opérations du niveau antérieur: ainsi la proportion est une notion qui se constitue au niveau formel, car elle consiste en un rapport de rapport. 2) Au lieu de porter directement sur les objets, la pensée formelle porte sur des éléments verbaux ou symboliques. 3) La pensée formelle permet de construire une combinatoire de toutes les possibilités compatibles avec les données d'un problème. 4) La pensée formelle renferme un plus grand nombre d'opérations et de possibilités opératoires que la pensée concrète. 5) Grâce aux instruments logico-mathématiques dont elle dispose, elle permet d'acquérir un plus grand nombre de connaissances physiques ou empiriques.

La pensée formelle consiste à opérer sur des opérations. Piaget explique que ces opérations sont les mêmes que celles effectuées par la pensée concrète: il s'agit de classer, sérier, dénombrer, mesurer, etc. Mais la pensée formelle portera sur les formes (propositions ou formalisation) qui représentent ces opérations. Les opérations formelles elles-même ne constituent que des relations telles l'implication, l'incompatibilité, la disjonction, etc., entre les opérations concrètes. C'est pourquoi la forme du raisonnement prévaut sur la description de la réalité et sur l'expérience du sujet. La pensée formelle marque ainsi le début du raisonnement hypothético-déductif, où les données du problème n'ont pas à décrire la réalité pour être manipulées. La pensée devient donc indépendante de l'action.

1.3 Les critiques associées aux notions de *structure d'ensemble* et de stade

La *structure d'ensemble* est la formalisation d'une quantité de conduites qui, bien que pouvant être rencontrées chez tous les individus, ne se manifestent pas forcément comme un tout unifié, une totalité fonctionnelle. Les conclusions, qui ont été tirées à ce propos, témoignent d'une profonde méprise. Le fait que les conduites caractéristiques d'un stade donné peuvent être ramenées — en ce qu'elles ont de particulier — sur le plan développemental à une même structure, n'implique pas qu'elles doivent apparaître simultanément dans le développement (de Ribaupierre, 1993). Plusieurs critiques de la théorie piagétienne ont pour objet cette absence de synchronisme entre tâches présumées d'un même stade.

Lorsque pris au pied de la lettre, le concept de *structure d'ensemble*, réfère à une structure globale et universelle qui doit se manifester chez tous les sujets d'un stade de développement donné et dans tous les domaines. Selon cette vision rigide, la *structure d'ensemble* est, par exemple, responsable des schèmes qui permettent au sujet d'effectuer les opérations caractéristiques de son niveau de développement à tous les contenus notionnels qui lui sont soumis.

Une telle conception des structures cognitives est incompatible avec les variations de performance observées à des tâches de même niveau structural. Le postulat du synchronisme des acquisitions, qui implique une conception rigide de la *structure d'ensemble* (toutes les conduites d'un niveau donné doivent se manifester chez les sujets de ce niveau), est toutefois peu réaliste². La conclusion — hâtive, peut-être — selon laquelle il est nécessaire pour un sujet de se situer aux mêmes stades de développement pour toutes les épreuves, a suscité une série de recherches visant à vérifier les correspondances entre les stades de développement pour divers contenus. Ces recherches ont en général souligné qu'il y a peu de synchronisme dans l'acquisition des structures développementales lorsqu'on passe d'un domaine notionnel à un autre (Dodwell, 1960; Lunzer, 1960; Laurendeau & Pinard, 1968; Tuddenham, 1971; Jamison, 1977; Kuhn, 1984; de Ribaupierre, Rieben et Lautrey, 1985; Lautrey, de Ribaupierre et Rieben, 1986). Brown et Desforges (1977) ont recensé plusieurs articles rapportant de faibles corrélations (0,30 à 0,40) entre les résultats de plusieurs mesures de la seule pensée formelle. Ce type

² Le synchronisme comme postulat n'est pas proprement piagétien. Cette attribution est plutôt le résultat de conclusions hâtives ou de mauvaises interprétations (Flavell, 1971, in Vuyk, 1981).

de recherche suggère donc que des tâches, postulées comme sous-tendant la même structure, ne sont pas forcément acquises aux mêmes moments.

L'ensemble de ces résultats a été interprété comme une mise en doute sérieuse de l'existence des stades de développement. La difficulté avec laquelle on peut expliquer les différences individuelles au sein de la théorie piagétienne est un des principaux éléments ayant contribué à alimenter les critiques à l'endroit du modèle piagétien. De Ribaupierre (1993) souligne que les modèles révisionnistes, qui tentaient d'expliquer les différences individuelles, ont en contrepartie beaucoup de difficulté à expliquer les importantes régularités qui sont observées.

Plusieurs critiques ont souligné que cette notion de *structure d'ensemble* est beaucoup trop rigide, et qu'elle ne laisse pas de place aux variations dans les processus de développement. La vision plus réaliste, qui tend à se répandre aujourd'hui, admet le rôle de la nature de la tâche. La présence de ces caractéristiques de la tâche n'implique pas l'absence de structure: elle s'ajoute à la présence de structure.

La mise en doute de l'existence de structures cognitives implique la remise en question de l'existence des stades. La notion de stade de développement, en tant qu'étape ou palier de structuration impliquant des changements qualitatifs, fut beaucoup critiquée (Boyle, 1976; Brainerd, 1978; Flavell, 1982; Siegel et Hodkin, 1982; Tomlinson-Keasey, 1982). On reproche à la notion de stade de n'être que le résultat de divisions touchant plus la nomenclature que l'explication. De ce groupe, Brainerd (1978), dans une analyse détaillée, soutient que la notion de stade n'a aucun pouvoir explicatif. Selon lui, le pouvoir explicatif de la théorie piagétienne ne serait consacré que si, à partir de critères préalablement énoncés, on arrive à prédire précisément les stades d'un contenu non-encore étudié. Il poursuit que les stades piagétiens se positionnent plutôt à mi-chemin entre la pure description et la véritable explication. Les critères exposés par Brainerd pour satisfaire l'explication scientifique, ont toutefois été critiqués comme trop stricts et basés sur des confusions (Vuyk, 1981).

Le manque de précision, que la théorie piagétienne fournit en ce qui concerne l'identification des stades dans une tâche, est fréquemment relevé (Kuhn, 1984; Siegel, 1982, 1993). Selon Ennis (1978), les quatre critères de stades possibles pour la pensée opératoire formelle que Piaget discute ne sont, ni l'un ni l'autre satisfaisants. On comprend toutefois les limites de ce qu'Ennis appelle *critères* (1- l'utilisation du langage de la logique propositionnelle, 2- le raisonnement suppositionnel, 3- distinction des

opérations, 4- isolation des variables) lorsqu'on se rend compte qu'il s'agit de conséquences ou de caractéristiques de la pensée formelle plutôt que de véritables critères. Il est ainsi bien évident qu'une caractéristique, bien qu'elle soit importante, ne puisse jamais à elle seule servir de critère. Il faut plutôt chercher à établir des critères à partir du principe qui rend ces éléments caractéristiques de la pensée formelle.

Piaget était plutôt réticent à parler de critères de stade, qu'il voyait comme contraires à ses efforts pour démontrer que les stades ne sont pas une simple nomenclature. Cependant, la formalisation des structures cognitives et les exemples in extenso de protocoles de sujets ne permet pas toujours une identification, même partielle, des stades. Les critères restent souhaitables afin d'identifier ce qu'implique de particulier un niveau de structuration.

1.4 Les théories néo-piagésiennes

La remise en question de la notion de *structure d'ensemble* et des stades de développement a fait naître un nouveau mouvement chez les piagésiens. La recherche développementale en est ainsi venue à considérer les aspects universels et individuels du développement. Avant l'avènement des néo-piagésiens, peu de théories cherchaient à expliquer aussi bien le caractère universel du développement, de même que les différences individuelles. Les théories néo-piagésiennes dirigent pourtant leurs efforts vers la réconciliation des caractéristiques universelles du développement avec la spécificité individuelle (Lewis, 1994). Leur but est néanmoins simple: développer une théorie du développement cognitif qui préserve les forces de la théorie de Piaget tout en éliminant ses faiblesses (Case, 1987b).

Les néo-piagésiens ont de particulier qu'ils vont emprunter aux autres sciences, et de façon marquée aux sciences cognitives, à la manière où Piaget emprunte ses structures à la logique et aux mathématiques. Ils intègrent des processus cognitifs tels que décrits dans la théorie du traitement de l'information, avec les structures et mécanismes piagésiens (Beilin, 1985). Cette dualité structure-fonction est très marquée chez ces théories. Il est vrai que l'oeuvre de Piaget elle-même renferme cette dualité de perspectives (Inhelder et de Caprona, 1985), mais chez les néo-piagésiens la présence de ces deux approches prend une dimension toute autre: l'approche structurale y est imbriquée avec des notions issues du paradigme du traitement de l'information. Néanmoins, la notion de développement discontinu occupe une place importante à l'intérieur des théories néo-piagésiennes et piagésiennes, ce qui contribue à les distinguer des approches qui expliquent l'amélioration

de la performance par la simple augmentation de la capacité à traiter l'information (Lautrey, 1993).

Les théories néo-piagésiennes restent très liées à la théorie piagésienne. Trois postulats piagésiens généraux font consensus chez les néo-piagésiens. Premièrement, ils considèrent l'existence de trois ou quatre paliers généraux de structuration. Les auteurs ne s'entendent pas sur leur nombre exact. Deuxièmement, ils adoptent l'emboîtement hiérarchique des stades: les structures plus avancées incluent celles qui les précèdent. Et enfin, ces auteurs s'entendent sur le fait que les stades sont des étapes du développement des structures cognitives et qu'il y a un intervalle d'âge caractéristique où serait acquises ces structures.

Par contre, trois postulats non-piagésiens, mais compatibles avec la théorie piagésienne, sont également posés. Ainsi, les néo-piagésiens postulent que le développement cognitif est lié aux spécificités du domaine de la connaissance, et que les différents domaines ont leurs propres structures. Cette idée est en fait une réponse aux nombreuses objections formulée au cours des années à la notion de *structure d'ensemble*. L'expérience sur laquelle se base l'acquisition des structures est évidemment, elle, incorporée dans ces théories, car elle est aussi reliée à la spécificité du domaine. Ensuite, les néo-piagésiens sont en accord sur l'existence de différences inter- et intra-individuelles dans la forme et la vitesse du développement. Ceci n'est pas incompatible avec la théorie piagésienne, à moins que la notion de *structure d'ensemble* ne soit prise au sens strict — soit une structure complète et unique dont la maîtrise est une étape obligée pour tous les enfants. Enfin, les néo-piagésiens conservent le postulat de la récursion cyclique, qui existe chez Piaget, mais qui prend ici une forme beaucoup plus stricte.

Le point essentiel en ce qui concerne les postulats piagésiens est le statut de la notion de *structure d'ensemble*. Il s'agit effectivement d'un postulat qui pourrait justifier à lui seul l'existence des théories néo-piagésiennes. On note que la *structure d'ensemble* piagésienne, telle que conçue par plusieurs, en tant que structure unique et générale, est abandonnée. Les structures élaborées par les néo-piagésiens sont définies comme ayant un caractère multiple et plus local, et sont donc limitées à des domaines particuliers (Lautrey, 1990). Elles sont aussi plus sensibles aux facteurs environnementaux et au contexte, ainsi qu'à la signification qui accompagne les habiletés et leur pratique.

Le problème des critères de stades est toutefois beaucoup plus sérieux. Selon Halford (1989), le concept de stade de développement, en soi, n'est pas problématique, car l'idée

qu'il y a des étapes pour l'acquisition des concepts est maintenant répandue. Le problème consiste toutefois à expliquer en quoi les concepts qui se développent à un certain moment ont quelque chose en commun. Les différenciations entre les formes d'organisation du développement ne prennent un sens que si elles se fondent sur des critères précis. Le système de Halford a comme critère qu'un nouveau type d'unité psychologique soit assemblé, prenant comme référent des entités du stade précédent. Chez Case (1987), le critère est semblable, mais son modèle postule toutefois des restructurations majeures et mineures, qui correspondent respectivement à des stades et des sous-stades chez Piaget. Ces critères de stade posent le problème de la généralisation, en ce sens que des critères ont un sens pour autant qu'ils sont compréhensibles au-delà des contenus de la connaissance impliqué.

Enfin, en ce qui concernent les processus de transformation structuraux, les néo-piagétiens s'entendent sur trois aspects: les structures se transforment indépendamment les unes des autres, les facteurs environnementaux et culturels jouent un rôle important, et la capacité de traiter l'information limite le développement. Ce dernier aspect concerne les contraintes qui limitent la capacité des processus centraux de traitement de l'information. Il ne peut être négligé, même chez les piagétiens.

1.6 Les apports et les limites des théories néo-piagésiennes

L'entreprise néo-piagésienne dans son ensemble a permis de proposer des alternatives aux idées piagésiennes les plus mal reçues. En particulier, la notion rigide de *structure d'ensemble* et le manque d'explication des variations individuelles. Mais la contribution peut-être la plus importante des néo-piagésiens est qu'ils ont su montrer qu'une approche structurale en psychologie du développement demeure utile, sinon nécessaire. Un autre point très important est qu'ils ont contribué à chasser l'idée ancienne selon laquelle l'approche piagésienne dans son ensemble est incompatible avec les théories du traitement de l'information. On en retire, au demeurant, une démonstration des niveaux différents d'analyse, auxquels ces deux approches s'intéressent.

Les théories néo-piagésiennes présentent cependant une limitation importante sur le plan de l'analyse structurale. La démarche structuraliste qu'elles décrivent n'a pas mis en évidence les invariants structuraux, nécessaires à l'établissement de critères de stades. C'est à dire qu'ils n'ont pu préciser quel sont les éléments identifiables d'une tâche à l'autre, qui se complexifient à chaque stade. Halford (1987) est néanmoins intéressant

sur ce plan lorsqu'il établit, comme critère de changement de stade, la création d'une nouvelle unité psychologique, à partir de celles qui sont créées à l'étape précédente. Toutefois, les structures au sein de son modèle se différencient quantitativement par le nombre d'éléments.

Les critères de stades font défaut aux théories néo-piagésiennes. En outre, l'imprécision quant à la définition de type de changement encouru par les mécanismes d'équilibration, font des théories néo-piagésiennes, des théories difficilement applicables à l'analyse de tâches. En négligeant la richesse du concept d'invariant structural, les théories néo-piagésiennes ont, dans une certaine mesure, failli à conserver l'essentiel de l'édifice piagésien. L'applicabilité de ces théories, et de ce fait leur fertilité, en est réduite considérablement.

1.7 Le problème des décalages

Le problème des décalages est celui qui a incité les chercheurs à abandonner la notion rigide de structure d'ensemble. Le niveau de développement affiché par un sujet n'est pas toujours le même d'une épreuve à l'autre. Piaget a souvent constaté ce phénomène de non correspondance des niveaux de développement entre les tâches. Il (Piaget, 1967) emploie le concept de *décalage* afin d'expliquer ce type d'asynchronisme. Il y a *décalage* lorsqu'un écart temporel sépare l'émergence de deux comportements ayant des caractéristiques communes (Montangero, 1985). Selon Piaget, les décalages sont de deux types: *verticaux* et *horizontaux*. Les décalages verticaux correspondent à l'écart temporel nécessaire à un changement de niveau: le passage d'une période de développement à la suivante, par la construction de structures cognitives plus complexes. Les décalages verticaux sont donc, en fait, des changements de stades et font partie intégrante du modèle piagésien.

Selon l'interprétation piagésienne, les décalages horizontaux sont, eux, imputables aux différents degrés de résistance qu'offrent les aspects figuratifs de la situation aux sujets (Piaget & Inhelder, 1941; de Ribaupierre, Rieben & Lautrey, 1985). Les aspects figuratifs, en tant que tels, ne permettent qu'une représentation des configurations statiques. Les structures opératoires doivent briser ces configurations afin de permettre une représentation des transformations en jeu dans une tâche. Si les données d'un problème sont présentées de manière à ce que la perception et l'image occupent un rôle plus important, la résistance des aspects figuratifs à l'activité structurante du sujet peut

entraîner un décalage horizontal. Les aspects figuratifs pourraient également, avoir un rôle facilitant pour certains problèmes. Cependant, ces effets doivent être collectifs c'est-à-dire, se manifester dans le même sens pour tous les sujets. Si les aspects figuratifs ne jouent pas un rôle univoque chez tous les sujets, que ce soit de résistance ou de facilitation, des interactions plus complexes doivent être postulées. Des sujets pourraient être plus avancés dans les domaines où l'aspect figuratif domine, alors que d'autres le seraient là où l'aspect opératif est prépondérant (de Ribaupierre, Rieben & Lautrey 1985).

On constate donc que, si les décalages verticaux sont une conséquence de la théorie piagétienne, il en est tout autrement pour les décalages horizontaux. À prime abord, on ne s'étonne pas qu'un sujet manifeste des niveaux de développement différents en fonction des domaines. Cependant, le phénomène est incompatible avec une certaine vision de la *structure d'ensemble*. Les décalages horizontaux remettent en question le bien-fondé de la théorie des stades, basée sur la réorganisation d'une structure cognitive générale, et la restructuration des acquis à un niveau supérieur.

Les décalages horizontaux ne se manifestent pas seulement comme des écarts temporels, où des contenus sont maîtrisés plus tardivement que d'autres: ils peuvent aussi impliquer des séquences différentes de développement d'habiletés. Ce type de décalages est le résultat de performances spécifiques à des contenus plutôt qu'à d'autres, et ce, même si ces contenus sont structurellement équivalents. Ce qui implique que les patrons de réponses, engendrés par les décalages, vont montrer une hiérarchie de difficulté d'items qui peut ne pas être la même pour tous les sujets. Ainsi, ce ne seront pas les mêmes tâches qui seront les plus faciles ou les plus difficiles aux yeux de chaque sujet.

Plusieurs explications furent proposées au sujet des décalages. Il y aurait d'abord, selon de Ribaupierre (1993), confusion à ce sujet. Elle souligne d'abord que Piaget n'a jamais mentionné que les comportements de même stade doivent apparaître simultanément. Kuhn (1984), allègue que, chez Piaget, les conduites d'un même stade apparaissent au cours d'une période de quelques années à la fin de laquelle elles seraient consolidées dans une *structure d'ensemble*.

Des aspects méthodologiques sont aussi soulignés. Les tâches administrées aux sujets, pour évaluer les différents concepts dans plusieurs notions, ne solliciteraient pas des performances équivalentes (Hofmann, 1982; Kuhn, 1984) et ce, indépendamment des structures cognitives impliquées. Ce qui signifie que bien des tâches élaborées dans le but de tester la maîtrise de différents concepts, demandent par ailleurs, des niveaux de

performances bien différents. Cet argument rejoint dans une certaine mesure, la notion piagétienne d'aspect figuratif facilitant ou nuisant à la performance.

Des facteurs cognitifs sont également mis en cause en ce qui concerne le problème des décalages. Longeot (1978) propose un développement qui procède selon des trajectoires différentes selon les sujets. de Ribaupierre, Rieben et Lautrey (1985) abondent dans le même sens, et proposent que les facteurs situationnels n'ont pas le même rôle chez tous les sujets, et qu'ainsi certains abordent les problèmes de manières différentes. Si l'on prend l'exemple souvent cité de la conservation, un enfant pourra maîtriser la conservation du nombre en premier, alors que pour un autre, ce sera la notion de conservation de substance qui sera maîtrisée la première. Longeot (1978) suggère que le modèle piagétien soit modifié, afin d'expliquer les cheminements différents empruntés par des sujets de même stade. Les décalages sont, selon eux, explicables et peuvent donc être intégrés dans un modèle du développement cognitif.

Les décalages s'expliqueraient selon Longeot (1978), Lautrey (1990), Lautrey, de Ribaupierre et Rieben (1986), par des différences au sein des processus d'acquisition des habiletés dans les domaines logico-mathématiques et infra-logique. L'explication réside dans le fait que les opérations logico-mathématiques portent sur des objets distincts ou individuels (sur un contenu discret) alors que les opérations infra-logiques concernent les relations entre parties interdépendantes d'un même objet (sur un contenu continu).

Selon la théorie piagétienne, les structures portant sur un contenu infra-logique peuvent être décrites par les mêmes structures que celles portant sur un contenu logico-mathématique. Toutefois, les modes de traitement de l'information seraient différents dans ces deux domaines. Les deux types de traitement de l'information postulés, le traitement symbolique³ et le traitement analogique, interviendraient respectivement dans les domaines logico-mathématique et infra-logique. Lautrey mentionne que le traitement symbolique serait «un traitement analytique et séquentiel, dans lequel des unités symboliques indépendantes sont combinées par des règles ou opérations, pour former des unités plus complexes, mais de même nature que les précédentes.» (1990, p. 193). En ce qui concerne le traitement analogique, c'est un processus «[...] plus massivement parallèle, holistique, qui extrait des covariations donnant lieu à la formation de structures globales, par exemple prototypes ou schémas, dans lesquelles le tout paraît précéder l'identification des éléments.» (op. cit.). Ces deux types de traitement de l'information comportent des avantages; Lautrey (1990) mentionne que le traitement symbolique

³ Appelé aussi digital ou propositionnel.

favorise la résolution de tâches inhabituelles et inconnues du sujet, alors que le raisonnement analogique avantage le sujet, dans des situations où il peut bénéficier des expériences passées, emmagasinées dans la mémoire à long terme.

Les acquisitions dans ces deux domaines peuvent être associées à des variations dans la forme du processus de développement. Une telle dichotomie est également décrite chez Piaget et Garcia (1983), où le système opératoire concerne les opérations appliquées par le sujet à des éléments du milieu, et un système causal renferme les opérations attribuées aux objets du milieu.

Si le développement ne procède pas de façon analogue dans les domaines logico-mathématique et infra-logique, le modèle unidimensionnel du développement doit être remis en question. Certains appuis à cette distinction ont pu être trouvés (de Ribaupierre & Rieben, 1988), sans qu'il soit montré que des modes de traitement de l'information sont privilégiés par certains sujets. Dans le cadre de leur recherche longitudinale effectuée chez des sujets de 6 à 11 ans, les modes de traitement de l'information se sont révélés instables au fil du temps.

Il importe de préciser que la présence de décalages n'invalide pas nécessairement la notion de *structure d'ensemble*. Le développement de la *structure d'ensemble* peut suivre un ordre invariant entre les étapes, sans observer la règle du synchronisme, car les décalages allant dans la même direction pour tous les sujets restent cohérents avec un modèle unidimensionnel de développement puisque tous passent par les mêmes étapes. Ce sont évidemment les décalages qui ne vont pas dans la même direction pour tous les sujets qui posent problème. Il est en effet difficile d'affirmer que le contenu d'une tâche peut être facilitant pour certains et source de résistance pour d'autres dans le cadre d'une théorie unidimensionnelle du développement. Si les aspects figuratifs sont nuisibles pour certains mais facilitants pour d'autres, le caractère imprévisible des décalages demeure un problème. La distinction entre contenu logico-mathématique et infralogique pourrait expliquer en partie l'occurrence des décalages individuels.

Le question de la *structure d'ensemble* et de la variabilité des conduites est liée à celle des critères de stade, car il est nécessaire d'établir des critères de stade afin de justifier la correspondance des niveaux de développement entre tâches. Alors que des chercheurs (Lautrey, 1990, Lautrey, de Ribaupierre & Rieben, 1986; Longeot, 1978) se sont intéressés aux différences individuelles en cherchant à comprendre les facteurs responsables des variations observées dans les profils de développement, peu de

recherches ont travaillé à définir des invariants structuraux entre épreuves, pourtant essentiels pour mener à bien ce type de recherche.

1.8 Les critères de stades

L'étude des niveaux de développement inter-tâches, dans le cadre d'une théorie structurale, nécessite, comme condition préalable de disposer de moyens pour déterminer les niveaux de développement. L'établissement de critères structuraux pouvant permettre la comparaison des tâches est nécessaire mais difficile. Le problème consiste à justifier que deux items (ou deux comportements), correspondent bien à un même niveau opératoire, au-delà des contenus de la connaissance impliquée ou des notions en jeu. Il devient impératif d'avoir une approche méthodologique qui permet de dresser un parallèle structural entre les items, et de modéliser les niveaux de développement (de Ribaupierre, 1993).

1.8.1 La recherche d'invariants

La nécessité d'établir des critères de stades, nous conduit à voir dans l'approche structurale des qualités compatibles avec les critères de stades. Dans l'ouvrage titré *Le structuralisme*, Piaget insiste sur l'aspect méthodologique du structuralisme: «...si l'histoire du structuralisme scientifique est déjà longue, la leçon à en tirer est aussi qu'il ne saurait s'agir à son sujet d'une doctrine ou d'une philosophie, sans quoi il eut été bien vite dépassé, mais essentiellement d'une méthode avec tout ce que ce terme implique de technicité, d'obligations, d'honnêteté intellectuelle et de progrès dans les approximations successives» (1968, p.117-118). Le structuralisme comme méthodologie rigoureuse est déjà présent chez le linguiste Saussure mais se manifeste encore davantage en sociologie chez Lévi-Strauss.

À la suite de Gardner (1981) et Tomlinson-Keasey (1984), on peut dégager trois principes qui particularisent cette méthode. Il y a d'abord la conviction qu'il existe une organisation sous-jacente au fonctionnement mental: ainsi on pose l'organisation comme principal construit. L'approche structuraliste amène donc les théoriciens à définir des invariants structuraux, appelés aussi isomorphismes, entre les domaines de la connaissance, ou encore entre niveaux de performance. On peut donc croire qu'il est possible de mieux connaître le fonctionnement de cette organisation par la mise en évidence de parallèles entre situations de tâche. Le second principe est que cette structure peut être découverte

par une analyse méthodique. Et enfin, il est posé qu'une telle structure peut être identifiée au-delà des contenus, et donc, que la recherche d'invariants doit se faire dans un cadre qui dépasse les caractéristiques de surface. Les propos de Lautrey concernent d'ailleurs cette nécessité de chercher les parallèles au-delà des apparences:

«La méthode structuraliste [...] est une démarche qui consiste à comparer les conduites des sujets entre domaines de la connaissance ou, à l'intérieur d'un même domaine, entre groupes d'âge. L'objectif de cette approche est de dégager des invariants, des isomorphismes, entre des conduites qui peuvent à première vue sembler assez différentes. (1990, p. 187)

Mises à part les positions en faveur ou en défaveur de l'établissement de critères de stades, il faut mentionner que les épreuves cognitives utilisées peuvent diriger les chercheurs vers d'autres aspects que les critères de stade. Les instruments d'évaluation genevois se prêtent mal à la description de critères de stade, car l'approche traditionnelle en évaluation piagétienne repose sur des épreuves, où la tâche à exécuter est décomposée en une série de conduites (Inhelder et Piaget, 1955; Wason et Johnson-Laird, 1969; Bond, 1992, 1993).

En règle générale, ce type d'épreuve consiste en une tâche à accomplir. Par exemple, dans l'épreuve de conservation de la matière, on demande au sujet s'il croit que deux boulettes de pâte à modeler ont la même quantité de pâte ou si une des deux en a plus. On pose alors une seule question à tous les sujets. Ce sont les conduites de ce dernier, vis-à-vis la tâche qui témoignent de sa performance et donc de son niveau de développement cognitif. Certains réussissent parfaitement la tâche à exécuter, d'autres manifestent des conduites qui témoignent de stratégies partielles ne pouvant mener à une exécution complète de la tâche, tandis que les sujets plus jeunes sont incapables d'identifier les variables en jeu. Avec ce type d'épreuve, on peut demander à des sujets, qui n'ont pas encore atteint le niveau de pensée opératoire, d'entreprendre des tâches qui, pour être totalement réussies, demande une pensée opératoire formelle. Inhelder et Piaget (1955), de même que Bond (1992), étudient les comportements de sujets préopératoires, concrets et formels à des tâches de niveau formel. Cette méthode a évidemment beaucoup de mérite car elle a permis de mettre à jour des comportements jusque là encore insoupçonnés, et de créer l'ensemble de l'édifice piagétien.

Dans un second type d'épreuve, la tâche est décomposée en items couvrant plusieurs niveaux de difficulté. Chaque item correspond à une tâche d'un niveau opératoire donné, qui sera ensuite corrigée en termes de réussite ou d'échec (Noelting, 1980). Les épreuves genevoises et les épreuves à plusieurs items permettent la cueillette de données semblables

lorsque les premières sont corrigées en termes de présence et d'absence de conduites spécifiques.

Noelting et ses collaborateurs (Noelting, 1980, 1982; Noelting & Cloutier, 1970, 1980; Noelting, Coudé & Rousseau, 1995a, 1995b, 1995c, 1995d), ont développé plusieurs épreuves grâce à cette méthode de décomposition de la tâche en items, et ont ainsi amassé une série de données expérimentales, montrant les différents niveaux de développements impliqués dans diverses notions. Des épreuves, portant sur plusieurs domaines de la connaissance, ont été élaborées. Des stades de développement pour des tâches de divers contenus ont été mis en évidence. Ces stades de développement sont décrits dans les domaines du raisonnement proportionnel avec *Concentrations* (Noelting, 1980), de la reproduction de figures géométriques avec *Figures Graduées* (Noelting, 1994), de la représentation en dessins d'objets tridimensionnels à l'aide de code avec *Vues Orthogonales Codées* (Noelting, G. Gaulin, C. & Pulschalska, E. 1986). Une épreuve portant sur la logique propositionnelle est aussi élaborée, *Coffrets* (Noelting, 1995)

Plusieurs recherches portant sur des contenus différents ont donc pu être effectuées à partir de ces épreuves et ce type d'expérimentation (Bellemare, 1966, Noelting, 1980, 1982; Noelting & Cloutier, 1970, 1980; Cantin, 1990). À partir des conduites des sujets et de la hiérarchisation des items, ces recherches ont permis d'analyser la composition et la séquence des stades de développement, en ce qui concerne le développement de la notion impliquée dans chaque épreuve. Ces travaux avaient pour but de comprendre le développement de la notion en jeu, dans chaque épreuve, à partir des conduites des sujets, et de dégager des stades et sous-stades de développement.

Ces épreuves ont comme avantage de permettre une description des stades de développement plus facile. La question de la variabilité des épreuves doit maintenant être traitée à la lumière de ces travaux. Déjà, les recherches de Cantin (1991) et Rousseau (1995) ont étudiés les résultats obtenus à partir des épreuves *Concentrations* et *Vues Orthogonales Codées*, sur des échantillons d'enfants et d'adolescents, trouvant des parallèles entre ces deux épreuves.

1.9 Les objectifs de cette recherche

Deux objectifs sont visés par cette recherche. Le premier consiste à décrire les composantes structurales responsables des discontinuités du développement, pour trois épreuves cognitives.



Les épreuves qui seront l'objet de cette analyse sont *Concentrations* (Noelting, Coudé & Rousseau, 1995a), *Coffrets* (Noelting, Coudé & Rousseau, 1995b) et *Vues Orthogonales Codées* (Noelting, Coudé & Rousseau, 1995c), qui portent respectivement sur la comparaison de ratios, la logique propositionnelle, et l'habileté à représenter sur dessin des figures géométriques tridimensionnelles en utilisant des codes. Cette démarche nous conduira à vérifier les critères de niveaux précédemment établis par Noelting et ses collaborateurs pour les items de ces épreuves cognitives avec comme cadre théorique le modèle piagétien. Les stades de développement décrits par Noelting et ses collaborateurs sur les bases de l'analyse de contenu des items seront utilisés pour vérifier la succession des items pour nos trois épreuves. Notre travail vise cependant l'étude des invariants structuraux communs aux trois épreuves plutôt que celle du développement d'une notion.

Le second objectif consiste à vérifier la correspondance entre les performances des sujets aux trois épreuves. On cherche à vérifier si les conduites aux trois épreuves peuvent être considérées comme appartenant à un même trait latent, au-delà des domaines impliqués.

Les items de nature géométrique de *Vues Orthogonales Codées*, qui correspondent au domaine infra-logique, et les items du domaine logico-mathématiques de *Concentrations* et *Coffrets* se révéleront sur des continuum d'habileté différents si les performances des sujets varient en fonction de ces deux domaines. Tout en postulant que la structure qui sous-tend ces deux domaines est la même en terme de stade, l'épreuve *Vues Orthogonales Codées* se présenterait sur une échelle hiérarchique différente par rapport à *Concentrations* et *Coffrets*.

Nous vérifierons ensuite les correspondances entre la hiérarchisation des items obtenue par Noelting et ses collaborateurs via l'analyse de contenu, et l'ordination des niveaux de difficulté à l'aide d'un modèle probabiliste de la théorie de réponses aux items: le modèle de Rasch (Wright & Stone, 1979; Hambleton & Traub, 1985).

L'appartenance à une échelle de difficulté différente sera indiquée par les statistiques d'ajustement. Les items qui s'ajustent mal sont, dans un tel cas, soupçonnés d'appartenir à un autre trait, et de mesurer une habileté dans un domaine différent.

Si les items du domaine logico-mathématique se hiérarchisent différemment des items infra-logiques, les items de *Vues Orthogonales Codées* présenteront un manque d'ajustement au modèle de Rasch par rapport aux items de *Concentrations* et de *Coffrets*. Les sujets auraient ainsi tendance à manifester un même niveau de développement aux épreuves *Concentrations* et *Coffrets*, mais différent à *Vues Orthogonales Codées*.

Les épreuves que nous traiterons dans cette recherche sont trois épreuves mises au point par Noelting et ses collaborateurs, soit *L'Épreuve des Concentrations*, *l'Épreuves des Vues Orthogonales codées*, et *l'Épreuves des Coffrets*.

CHAPITRE II

LE TRAITEMENT DES DONNÉES ET LES CARACTÉRISTIQUES DU DÉVELOPPEMENT

Les recherches en psychologie du développement, particulièrement celles d'orientation piagétienne, ont souvent souffert du manque d'instrument statistique compatible avec les données développementales (Bond, 1992). Les difficultés surviennent lorsque les données sont analysées sans tenir compte des caractères hiérarchique ou probabiliste des données.

2.1 Les problèmes associés à l'utilisation de l'analyse factorielle en développement cognitif

L'analyse factorielle fut souvent utilisée comme principale méthode pour évaluer le degré d'unidimensionnalité des mesures développementales piagésiennes. Elle pose cependant problème pour ce type de données. Il est possible d'obtenir une solution factorielle multiple qui n'est pas le résultat de la dimensionnalité du trait latent mesuré, mais plutôt le résultat des différences de difficultés des items impliqués. On peut obtenir plusieurs facteurs différents si un ensemble de mesures est homogène en regard du contenu, mais de niveaux de difficulté hétérogènes (Ferguson 1941, cité dans Bond, 1980).

De plus les données constituées à partir d'items de niveaux de difficulté variables, où la réussite d'un item facile est une condition nécessaire à la réussite d'un item difficile, sont incompatibles avec le modèle statistique sous-jacent à l'analyse factorielle (Ferguson, 1941; Loevinger, 1947; Lumsden, 1978; Bond, 1992, 1994). L'analyse factorielle, en tant que modèle basé sur les corrélations, ne permet pas un traitement adéquat des données expérimentales (Bond, 1992). Prenons l'exemple suivant où nous avons deux items A et B de niveaux de difficulté différents. Si nous cherchons à mesurer la relation entre ces

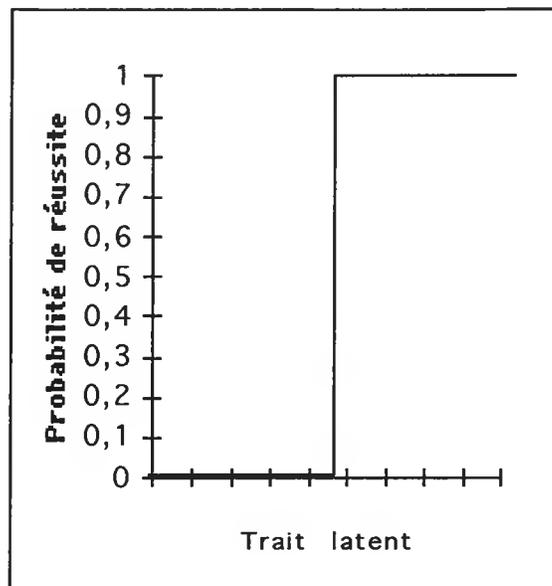
deux items à l'aide de corrélations les deux seuls cas suivants items A et B ratés et items A et B réussis seront en accord avec le modèle corrélationnel. Les deux cas suivants A raté et B réussi et A réussi et B raté, sont traités comme des cas d'erreur qui contribuent à réduire la corrélation.

Un modèle plus sensible aux données devrait tenir compte des niveaux de difficulté différents. Si l'on reprend l'exemple précédent, le traitement avec un tel modèle considérerait les cas suivants: items A et B ratés, items A et B réussis et item A réussi et item B raté comme trois cas cohérents avec le modèle si A est plus facile que B. La seule situation déviante serait celle où l'item facile A est raté et l'item B difficile est réussi. Un modèle applicable aux données développementales doit tenir compte de la variation de niveaux de difficulté, caractéristiques essentielles de ce type de données. Ce type de modèle n'est pas seulement utile mais devient nécessaire lorsqu'on traite des données de type piagétienne où le facteur de difficulté est renforcé et devient un critère de condition préalable nécessaire.

2.2 Les caractéristiques de l'échelle de Guttman

L'échelle parfaite de Guttman décrit de manière très simple la relation entre la probabilité de réussir un item et un trait latent hypothétique. Cette relation prend la forme d'un saut vertical entre deux paliers (rappelant une marche d'escalier). En fait, ce n'est pas un modèle probabiliste mais un modèle déterministe où la probabilité qu'un sujet donne une bonne réponse à un item donné est soit 0 ou 1 (Dickes, Tournois, Flieller & Kop, 1994). Ce modèle postule qu'un sujet peut être placé à un endroit précis sur un continuum de manière à discriminer de manière exacte les habiletés qu'il maîtrise de celles qu'il est incapable de manifester. Par exemple, un sujet a_1 dont le niveau d'habileté serait inférieur à un niveau donné, Θ , correspondant à la difficulté d'un item b_j , aurait une probabilité nulle de réussir cet item; alors qu'un sujet a_2 dont le niveau d'habileté serait supérieur au niveau de difficulté de cet item aurait une probabilité de réussite égale à 1. Les réponses inattendues sont vues, à l'intérieur d'un modèle de Guttman, comme étant peu probables et on dispose de peu de moyens pour évaluer jusqu'à quel point une réponse peut être inattendue (Ludlow & Hillocks, 1985). Ce modèle est compatible avec une conception de développement par stades mais s'avère peu réaliste.

Figure 1. *Échelle parfaite de Guttman*



2.3 La théorie de réponses aux items

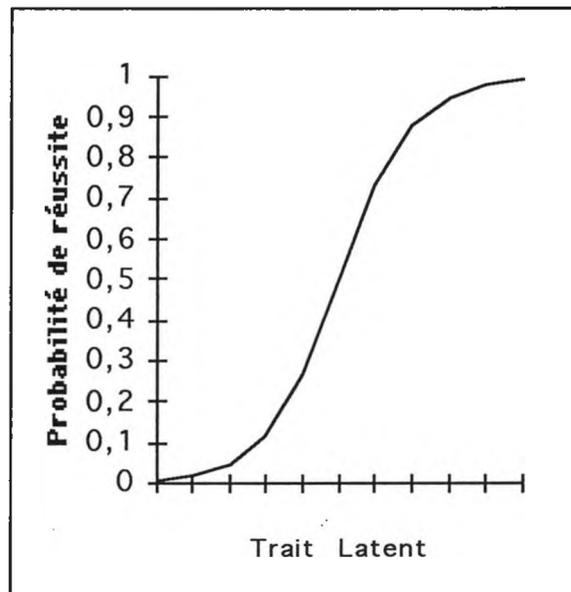
Un modèle décrivant la relation sujet-trait latent à l'aide d'une fonction probabiliste est beaucoup plus juste. Ce modèle rend compte des chances, si faibles soient-elles, qu'un sujet de réussir une tâche difficile qui exige un niveau d'habileté plus grand que le sien. Comme nous le verrons plus loin, une fonction monotone croissante est plus susceptible de rendre compte de la relation entre la probabilité de réussite d'un item et le trait latent mesuré, étant donné la forme à la fois continue et discontinue du développement.

La théorie de réponses aux items suppose que la performance d'un sujet est déterminée par ses traits ou ses scores d'habiletés. Lorsque ces traits ne sont pas directement mesurables, ce sont des traits latents⁴ ou encore des habiletés. Ainsi, la relation entre probabilité de réussite et habileté mesurée sera déterminée par les paramètres inclus dans le modèle et le type de fonction qui le décrit. Notons tout de suite à cet égard que le modèle choisi ne peut être jugé correct ou incorrect. Seul un test d'ajustement (goodness of fit) déterminera

⁴ Les propos d'Andrich (1988) reflètent bien ce qu'est un trait latent: «It is important to appreciate that in making observations that reflect properties, the actual properties are not observed—only their manifestations are observed. The properties are abstractions based on the patterns of observations.» (p.14)

s'il concorde ou non avec les données (Hambleton et Swaminathan, 1985). Les modèles de la théorie de réponses aux items sont dits unidimensionnels car un seul trait latent rend compte de la probabilité de réussite pour tous les items. En conséquence, un modèle statistique unidimensionnel sera en mesure d'évaluer si un ensemble de données peut être expliqué par un seul trait latent.

Figure 2. Courbe logistique à un paramètre



2.3.1 Le modèle de Rasch

Le modèle de Rasch est un modèle de Théorie de réponses aux items qui ordonne les items selon la difficulté et les sujets selon l'habileté, alors que le modèle de Guttman ordonne les items en fonction de la difficulté et les sujets en fonction du score total (Brink, 1972). Le Modèle de Rasch peut être considéré comme un modèle à trait latent dont la courbe caractéristique d'item est une fonction logistique à un seul paramètre (Hautamäki, 1989). Ce paramètre comporte deux éléments: l'habileté des sujets et la difficulté des items. Cette fonction logistique décrit la relation entre deux éléments: l'un relatif au sujet, β , et qui mesure la position du sujet sur le trait latent, et un autre, relatif à l'item, δ , qui mesure la difficulté de l'item. Le modèle de Rasch exprime donc la relation entre le trait latent et la

probabilité P qu'un sujet i réponde correctement à l'item j . Cette relation prend la forme suivante:

$$P_{ij} = \frac{e^{(\beta - \delta)}}{1 + e^{(\beta - \delta)}}$$

Cette relation est possible car les sujets et les items sont mesurés sur une même échelle. Le continuum linéaire est établi en transformant la probabilité d'occurrence des réponses en valeurs logistiques, les *logits*, à l'aide de la fonction logarithmique. Comme le montre la fonction ci-haut, un sujet dont la mesure sur le trait latent est égal à celle d'un item donné, donc si la différence entre β et δ est égale à 0, la probabilité P qu'a le sujet de réussir l'item est de 0,5. En d'autres mots, un sujet dont le niveau d'habileté sur le trait latent est égal au niveau de difficulté d'un item sur ce même trait latent, aura 50% de chance de réussir cet item.

Il s'agit d'un modèle à un paramètre car il postule que seulement deux éléments déterminent la probabilité de réussite d'un item: l'habileté du sujet et la difficulté de l'item (Wright & Stone, 1979; Andrich, 1988). Ce paramètre peut être défini comme la probabilité qu'un sujet donne une bonne réponse à un item donné. La discrimination des items est fixée à une valeur théorique de 1, les items discriminent de la même façon. Notons que les différences de pouvoir discriminatif d'un item à l'autre peuvent être mesurées par les statistiques d'ajustement des items au modèle de Rasch. La probabilité de réussir un item par hasard est elle fixée à 0 pour tous les items.

Le modèle de Rasch est probabiliste. On sait que même lorsqu'un événement a une forte probabilité d'occurrence, il n'est pas certain qu'il se produira. Le modèle de Rasch nous renseigne sur la correspondance entre un groupe de sujets et un groupe d'items, et permet d'identifier les items ou les sujets ne se comportent pas, sur le plan statistique, comme on serait en mesure de s'y attendre. Il faut cependant garder à l'esprit que le modèle de Rasch est une idéalisation de la réalité et qu'on doit s'attendre à un certain écart entre les courbes de probabilités de réussite et les profils de réussite observés (Shaw, 1991).

Avantages et caractéristiques du modèle de Rasch

Le modèle de Rasch est utile dans le traitement des données développementales pour trois raisons: 1) il permet d'estimer la difficulté des items les uns par rapport aux autres et conséquemment de hiérarchiser les items en fonction du niveau de difficulté, 2) il permet de rendre compte des sauts quantitatifs entre groupes d'items et de supporter la mise en

évidence des stades de développement; 3) par une analyse du degré d'ajustement des items au modèle de Rasch, il permet d'évaluer la scalabilité des items sur un continuum et donc de se prononcer sur l'unidimensionnalité de l'épreuve ou du trait latent mesuré⁵.

Rappelons que pour des données cotées en échecs et réussites l'analyse de Rasch peut attribuer un niveau d'habileté à un sujet que si ce dernier a, d'une part, répondu correctement à au moins un item et, d'autre part, fournit une réponse incorrecte à au moins un item. Un sujet qui ne réussit aucun item a un niveau d'habileté qui se situe en deçà du niveau minimum mesuré par la tâche et, d'une manière similaire, un sujet qui réussit tous les items d'une tâche a un niveau de compétence qui se situe au delà du niveau optimal mesuré par l'épreuve. La situation est la même en ce qui concerne les items, un item réussi ou raté par tous ne nous apprend rien de son niveau de difficulté. Les items ou sujets qui ne présentent que des échecs ou des réussites sont donc éliminés du processus d'analyse.

⁵Ce qui n'est pas le cas pour tous les modèles (Hambleton et Swaminathan, 1985).

CHAPITRE III

MÉTHODE

3.1 Échantillon

L'échantillon comprend au total 365 sujets. Une première partie se compose de 265 étudiants de niveau secondaire; 157 sont inscrits en Formation professionnelle, et 108 complètent leur Formation générale. Les étudiants en cours de Formation professionnelle proviennent de sept programmes différents⁶, alors que ceux en Formation générale sont issus de quatre groupes: École publique avec sciences, École publique sans sciences et deux groupes de sujets (toutes options confondues) issus de Collèges privés (Brunel et al. 1992). Une seconde partie de notre échantillon comporte 100 élèves de la Formation professionnelle⁷ (Boudrault, 1995).

Les données analysées dans le cadre de la présente recherche ont été recueillies lors d'expérimentations effectuées par Boudrault (1995), Brunel et al. (1991; 1992); Brunel, Chagnon, Goyer, Simard et Noelting (1994); Brunel, Noelting, Chagnon, Goyer et Simard (1993); Chagnon, Brunel, Simard et Noelting (1994); Goyer (1991); Simard (1993). Ces recherches visaient à identifier les caractéristiques cognitives et les stratégies cognitives des élèves de la Formation professionnelle. Par le biais d'une comparaison entre élèves de la Formation générale et élèves de la Formation professionnelle, les auteurs cherchaient à savoir si les deux groupes avaient un potentiel cognitif similaire. Tous ces sujets sont soumis à un ensemble de tests: *Vues Orthogonales Codées*, *Coffrets* et *Concentrations*, le Tests Collectifs des Figures Cachées, Batterie Générale des Tests d'Aptitudes⁸ (BGTA), et enfin un questionnaire portant sur le *Concept de Soi scolaire*. Ces données constituent donc des *données secondes* dans le cadre de la présente recherche où elles feront l'objet d'une étude différente.

⁶ Ces programmes sont Techniques d'usinage, Équipement motorisé, Électricité de construction, Commercialisation de voyages, Tenue de caisse, Infirmières auxiliaires et Dessin technique.

⁷ Les programmes d'étude concernés sont Dessin de Bâtiments et Mécanique automobile.

⁸ Seuls trois tests de la BGTA ont été administrés.

3.2 Instruments

Les épreuves développementales utilisées dans cette recherche sont *Concentrations* (Noelting, 1980, 1991; Noelting & Cloutier, 1970, 1980; Noelting, Coudé & Rousseau, 1995a), l'*Épreuves des Coffrets* (Noelting, 1992; Noelting, Coudé & Rousseau, 1995b) et l'*Épreuve des Vues Orthogonales Codées* (Noelting, Gaulin & Puchalska, 1986; Noelting, Coudé & Rousseau, 1995c). Elles concernent respectivement les notions de rapport numérique, de logique propositionnelle et de dessin à l'aide de codes de figures géométriques tridimensionnelles. Le tableau 1 contient la liste des items des trois épreuves.

Ces trois épreuves sont décrites aux tableaux 1, 2 et 3. On y trouve, pour chaque période⁹ et chaque phase, un exemple d'item typique et une description des niveaux de développement auxquels correspondent les items.

⁹ Nous préférons utiliser le terme période plutôt que stade afin de différencier notre conception du développement de celle de Piaget. Il en est de même pour le terme phase qui est employé à la place de sous-stade.

3.2.1 L'Épreuve des Concentrations

L'*Épreuve des Concentrations* est élaborée par Noelting et Bellemare en 1966 et s'inspire de l'expérience des *Quantifications de probabilités* de Piaget et Inhelder (1951). Elle ne porte cependant pas sur la notion de probabilité mais sur celle de rapport. La tâche consiste à comparer deux mélanges constitués de jus d'orange et d'eau. Deux rapports numériques sont illustrés par deux ensembles de verres, composés chacun de deux sous-ensembles: des verres de jus d'orange et des verres d'eau. Il s'agit de déterminer quel ensemble aura une plus forte concentration en jus (Noelting, Coudé & Rousseau, 1995a) (figure 3). Les stratégies des sujets ainsi que des exemples de réussite à ces items sont décrits dans (Noelting, 1980; Noelting, Coudé & Rousseau 1995a, Rousseau, 1994). Les items de *Concentrations* sont présentés au tableau 1.

Figure 3. Modèle d'items de l'Épreuve des Concentrations

La tâche consiste à trouver si le mélange A goûte plus le jus que le mélange B , ou encore s'ils ont le même goût.

Les items comportant des mélanges de jus et d'eau de présentent comme suit:

A
B
 ▼▼▼▼▼ vs. ▼▼▼▼▼▼▼▼▼▼

Les items comportant des mélanges de trois concentrés se présentent comme suit:

A
B
▼ = 40%,
▼ = 10%,
▼ = 0%
 ▼▼ vs. ▼▼▼▼▼

Tableau 1. *Items et niveaux de développement à l'Épreuve des Concentrations d'après Noetling & Rousseau (1993)*

Niveau	No.	Composition	Stratégie
Symbolique	C1	(2,0) vs (0,2)	Reconnaissance du jus et de l'eau
Intuitif			
1A	C2 C3	(1,1) vs (2,1) (2,0) vs (1,1)	Centration sur le jus
1B	C5 C7	(1,0) vs (1,1) (1,5) vs (1,2)	Concordance - différence
1C	C4 C6 C8	(2,1) vs (1,2) (2,1) vs (3,4) (2,3) vs (1,1)	Compensation simple
Opérateur concret			
2A	C9 C10	(2,2) vs (1,0) (2,2) vs (1,1)	Couple (1,1)
2B	C11 C12	(1,2) vs (2,4) (2,1) vs (4,2)	Couple (1,n) ou (n,1)
2C	* 10 *	(2,4) vs (3,6) (4,3) vs (8,6)	Couple quelconque
Opérateur formel			
3A	C13 C14	(1,2) vs (2,3) (2,5) vs (1,3)	Multiplicité d'un terme combine deux opérations équivalence et concordance-différence
3B	C15 C16	(2,3) vs (3,4) (3,5) vs (5,8)	Dénominateur commun
3C	C18 C19	(1,1,1) vs (2,1,2) (2,1,3) vs (1,2,1)	Addition de pourcentages

10 * signifie des items qui ne font pas partie de l'échantillon analysé et qui sont montrés à titre de référence seulement.

3.2.2 L'Épreuve des Coffrets

Inspirés par un problème logique de Smullyan (1978), Noelting et ses collaborateurs conçoivent une épreuve portant sur des problèmes de logique propositionnelle. Chaque item de l'épreuve se présente comme le dessin d'une, deux ou trois boîtes qui représentent les coffrets Or, Argent et Bronze sur lesquels on peut lire un énoncé qui porte sur la localisation d'un objet (un portrait) qui serait caché dans un des coffrets. Chaque énoncé est relié à une valeur de vérité, vrai ou fausse. La tâche consiste à trouver où se trouve l'objet à partir des informations contenues dans le ou les énoncés (voir figure 4). (Noelting, Coudé & Rousseau, 1995b). Les items de Coffrets sont présentés au tableau 2

Figure 4. Exemple d'item de l'Épreuve des Coffrets
D'après Noelting, Coudé & Rousseau (1995b)

À partir des trois messages suivants :

Le portrait est ici	Le portrait n'est pas ici	Le portrait n'est pas dans le coffret or
---------------------------	---------------------------------	---

De ces trois inscriptions, deux sont FAUSSES, une est VRAIE

Dans quel Coffret se cache le portrait ? Coche ta réponse.

<input type="checkbox"/> OR	<input type="checkbox"/> ARGENT	<input type="checkbox"/> PLOMB
<input type="checkbox"/> IMPOSSIBLE	<input type="checkbox"/> PLUS D'UN CHOIX POSSIBLE	

Explique pourquoi

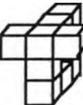
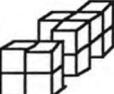
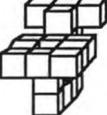
Tableau 2. *Items et niveaux de développement à l'Épreuve des Coffrets d'après Noelting, Coudé et Rousseau, (1995b)*

<i>Stade</i>	<i>No.</i>	<i>Composition</i>	<i>Stratégie</i>
1A	L1	Or: Le portrait est ici, vrai	Aucune transformation
1B	L2 L3 L5	Or: Le portrait n'est pas ici, vrai Or: Le portrait est ici, faux Or: Le portrait n'est pas ici, vrai	Transformation de 1er niveau par différenciation entre proposition lue et sa localisation
1C	*	Or: Le portrait n'est pas ici, vrai Argent: Le portrait est ici, faux	Différenciation entre objet et circonstance avec détection des impossibilités.
2A	L4 L6 L7	Or: Le portrait n'est pas ici, faux Or: Ce n'est pas vrai que le portrait est ici, faux Or: Ce n'est pas vrai que le portrait n'est pas ici, vrai	Transformation de 2e niveau appliquée sur une transformation de 1er niveau. Émergence de la proposition, posée puis validée par sa valeur de vérité.
2B	L8 L9	Or: Ce n'est pas vrai que le portrait n'est pas ici, faux Or: Le portrait n'est pas ici, faux Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, faux	Transformation de 2e niveau dans un coffret comparée à une transformation de 1er niveau dans le second.
2C	L10	Or: Le portrait n'est pas ici, vrai Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, vrai	Deux transformations de 2e niveau sont comparées entre elles. Raisonnement déductif.
3A	L11 L12	Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, Une proposition est vraie Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas ici Une proposition est fausse	Transformation de 3e niveau par compréhension du caractère hypothétique d'un énoncé qui doit être mis en relation avec le réel.
3B	L15 L16 L17 L18	Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas ici Plomb: Le portrait est ici Une proposition vraie, deux fausses Or: Le portrait n'est pas ici Argent: Le portrait n'est pas dans l'Or Plomb: Le portrait est dans l'Argent Une proposition fausse, deux vraies Or: Le portrait n'est pas ici Argent: Le portrait n'est pas dans l'Or Plomb: Le portrait n'est pas dans l'Argent Une proposition fausse, deux vraies Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas ici Plomb: Le portrait n'est pas dans l'Or Une proposition vraie, deux fausses	Hypothèses successives sont appliquées et leur cohérence examinée.
3C	*	Coffret Or: Pas ici - Dans Ag Coffret Argent: Pas dans Or - Dans Pb Coffret Plomb: Pas ici - Dans Or; un coffret a 2 propositions fausses, un a 2 propositions vraies, et un a une vraie et une fausse,	Mise en relation directe entre propositions à signe indéterminé et valeurs de vérité. Raisonnement hypothético-déductif.

3.2.3. L'Épreuve Vues Orthogonales Codées

Cette épreuve, mise au point par Noelting, Gaulin et Puchalska (1986), consiste à produire un dessin codé d'un objet, constitué de plusieurs cubes. Un item est réussi lorsque sa reconstitution à partir de la production du sujet est possible. La production des sujets inclut un contour de l'objet vu de face, et des signes placés en des endroits appropriés pour représenter l'aspect tridimensionnel de l'objet (Noelting, Rousseau & Coudé, 1995c). La difficulté réside ainsi dans la traduction de la troisième dimension en un codage apposé sur un dessin ne comportant évidemment que deux dimensions. On assiste donc, à travers les items de divers niveaux de difficultés à des niveaux de représentations différents, illustrés par le type de couche de référence que le sujet pose pour effectuer la codification. Les items de Vues Orthogonales Codées sont présentés au tableau 3.

Tableau 3. *Items et niveaux de développement à l'Épreuve des Vues Orthogonales Codées d'après Noeiting, Coudé et Rousseau, (1995c)*

Stade	Composition	Objet à coder	Dessin	Stratégie
Intuitif				
1A	*: Triplet			Alignement de cubes
1B	*: Divan			Ajout d'un cube perpendiculairement
1C	*: Croisée			Forme bidimensionnelle
Concret				
2A	*: Villa romaine			Couche manifeste avec ajout d'un cube devant.
2B	V1: Fenêtre C			Couche manifeste avec ajout d'un cube de part et d'autre.
2C	V2: Sphinx			Couche construite avec colonnes parcourues transitivement
	V3: Boa			
Formel				
3A	V4: Colonnes			Couches «décrochées» dans la seule direction verticale.
	V5: Tours			
3B	V6: Vaisseau spatial			Couches décrochées dans les deux directions verticale et horizontale.
3C	V7: Règle	Règle systématique de codage permettant de réussir toutes les formes		Utilisation d'une règle systématique permettant de réussir tous les items. Par exemple la colonne orthogonale de cubes située à la base du Vaisseau spatial comprenant «un vide suivi de quatre cubes sera codée «011111».

Chapitre IV

ANALYSE STRUCTURALE DES ÉPREUVES

À la suite de précédentes recherches, des niveaux de développement ont pu être attribués aux items des trois épreuves qui nous intéressent. Ces descriptions sont cependant liées au contenu des items, et visent à comprendre le développement de la notion en jeu à partir des conduites des sujets.

L'analyse structurale permet de décrire des niveaux structuraux de difficulté pour chaque item en fonction du degré de complexité des composante en jeu dans la tâche. À l'aide des descriptions piagésiennes de stades (Piaget, 1967, 1975; Piaget & Garcia, 1983, 1987), et des stades de développement des notions impliqués dans les items (Noelting, Rousseau & Coudé, 1994, 1995a, 1995b, 1995c, 1995d), nous décrivons des relations invariantes qui caractérisent le type d'opération que le sujet doit effectuer pour réussir les items. L'objectif est de montrer en quoi il est justifié d'attribuer un niveau de développement et une phase aux items sur la base de critères de stade communs aux trois épreuves.

Ces trois épreuves que nous analysons supposent une activité de transformation qui nécessite la saisie d'un invariant. La complexité croissante de la tâche demande un invariant qui se complexifie également. Les compositions qu'un sujet peut effectuer caractérisent ses schèmes cognitifs en tant qu'opérateur concret ou formel. Notre tâche consiste maintenant à montrer ce que les opérations effectuées dans chacun des contenus ont en commun sur le plan structural, et partant, de décrire les propriétés propres aux schèmes. Ces schèmes de représentation correspondent aux niveaux de composition présents dans les tâches.

4.1 La période opératoire concrète

Les items de cette période se caractérisent par l'émergence d'une relation invariante entre composantes du problème, et ce pour les trois épreuves. C'est cette relation invariante et sa coordination graduelle avec les variations en jeu dans chaque contenu qui déterminent les schèmes opératoires concrets du sujet. On note trois phases dans la maîtrise des opérations contenues dans nos items.

4.1.1 La pensée opératoire concrète dans les trois épreuves

a) *Concentrations*

Les items de niveau 2A de l'épreuve *Concentrations* consistent en la comparaison de rapports égaux prenant des formes différentes. L'item suivant en est un exemple: 1,1 vs 2,2 (un verre de jus pour un verre d'eau contre deux verres de jus pour deux verres d'eau). C'est le ratio jus-eau qui constitue la relation invariante parce que les mélanges de ce niveau ne peuvent être comparés que si cette variable conjointe est considérée. Ce type d'item portent donc sur la maîtrise de l'aspect qualité du mélange car les quantités de jus et d'eau sont assujetties à la notion de rapport jus-eau. Le sujet doit différencier les aspects qualitatifs (le concentré que donne le rapport jus/eau), des aspects quantitatifs (le nombre de verres impliqués dans le rapport). Il doit comprendre que la qualité, le goût en jus, peut prendre des formes différentes toujours plus détachées de la configuration des éléments (le ratio 1 pour 1 est égal au ratio 2 pour 2), car la quantité de verres n'est pas le seul élément responsable du goût: l'addition dans des proportions égales de verres de jus et de verres d'eau permet de conserver le même goût. Les attributs jus et eau forment donc, à cette période, une relation invariante caractérisant une variable conjointe, le goût. Cette relation invariante jus-eau se distingue graduellement des caractéristiques de la situation en trois phases de composition comme nous verrons plus loin.

b) *Coffrets*

Aux items de *Coffrets*, la relation invariante est constituée de la proposition et de la transformation appliquée à cette proposition. Cette relation forme une unité, la proposition contenant une transformation, à laquelle diverses variations seront reliées. Cette relation invariante signe le début de la logique propositionnelle déductive où le sujet doit inférer la réponse du problème à partir des opérations qu'il peut effectuer, et non plus à partir de constatations comme c'est le cas à la période intuitive. L'exemple-type de cette relation

invariante est la relation *Le portrait n'est pas ici* où, la transformation appliquée à la proposition est la négation. Ce type de proposition à une transformation est maîtrisé à la fin de la période précédente, mais ne devient invariant qu'à la période concrète. Ce n'est qu'alors qu'il peut supporter les transformations caractéristiques de la logique propositionnelle déductive. La période concrète à cette épreuve se présente comme la capacité d'effectuer des déductions à partir de transformations successives appliquées sur une proposition, et de mise en relation de propositions. Ainsi, par exemple, la fausseté (seconde transformation) d'une négation (première transformation) sera comprise comme étant l'équivalent d'une affirmation. Cette logique déductive ne sera complètement maîtrisée qu'à la fin de la période concrète.

C) Vues Orthogonales Codées

En ce qui concerne les items de *Vues Orthogonales Codées*, la relation invariante s'établit entre les colonnes (verticales) et les rangées (horizontales) formant une couche de référence. Cette couche de référence est construite à la fin de la période intuitive qui précède, et permet à la période concrète d'effectuer le codage en ajoutant des cubes dans un plan sagittal à cette couche de référence. Le sujet doit donc construire conceptuellement un second plan à partir du premier. L'ajout de cubes ne peut plus être représenté par les seuls contours comme il l'était aux items de niveau intuitif, qui ne comportaient qu'un seul plan. La réussite implique, en plus du dessin du contour, une nouvelle façon de représenter les objets: le codage basé sur la notion de couche de référence.

4.1.2 Les phases de composition de la période opératoire concrète

La composition de chacun de ces items permet de distinguer trois degrés de coordination de l'invariant à l'intérieur de ce niveau opératoire concret.

a) La phase A - Émergence de la relation invariante

Aux items caractéristiques de cette première phase (tableau 4), le sujet peut manipuler une nouvelle notion grâce à la conceptualisation d'une relation invariante basée sur les relations entre éléments maîtrisés graduellement à la période intuitive. Cette nouvelle notion n'est encore cependant que peu articulée avec les composantes du problème.

Tableau 4 Les items de niveau 2A

<i>Épreuve</i>	<i>Item</i>
<i>Concentrations</i>	C10: 2,2 vs 1,1
<i>Coffrets</i>	L4: Or: Le portrait n'est pas ici, faux L6: Or: Ce n'est pas vrai que le portrait est ici, faux L7: Or: Ce n'est pas vrai que le portrait n'est pas ici, vrai
<i>VOC</i>	V*: Villa Romaine 

La relation invariante qui émerge à l'épreuve des *Concentrations* est le rapport 1 pour 1, tel qu'illustré par cet item C10. La reconnaissance de cette relation invariante est un critère d'accession à la pensée opératoire concrète et permet une différenciation entre qualité du mélange et quantité de liquide, respectivement la concentration en jus et le nombre de verres de jus et d'eau. La capacité naissante d'identifier des rapports équivalents est facilitée par deux facteurs. Premièrement, la présence d'une égalité des verres de jus et d'eau dans chaque ensemble (1 pour 1 dans l'ensemble A et 2 pour 2 dans l'ensemble B) qui rend l'équivalence des rapports plus évidente. Deuxièmement, une relation facteur-multiple entre le nombre de verres en A et en B permet la covariation (B contient le double des verres de A). Ces indices «quantitatifs» aident à comparer les rapports. C'est

pourquoi la qualité du mélange (sa concentration) n'est encore qu'incomplètement dissociée de la quantité de verres.

En ce qui concerne l'épreuve des *Coffrets*, trois items sont de niveau 2A: la relation entre la proposition et une transformation se présente comme la relation invariante. La proposition comprenant un premier niveau de transformation permet au sujet d'appliquer une seconde transformation au résultat de la première. Citons en exemple l'item *L4*: la proposition négative *Le portrait n'est pas ici* et une seconde transformation impliquant la valeur de vérité *Faux*, sont combinées de manière à ce que la seconde transformation compense l'effet de la première. Le résultat devient *Le portrait est ici*. L'application d'une seconde transformation sur le résultat d'une première entraîne une déduction. On assiste donc à l'émergence de la pensée déductive avec les items de niveau 2A. Les combinaisons de transformations ne sont pas encore suffisamment articulées avec les données du problème, et elles se limitent à deux dans cette phase A. La proposition invariante n'est pas encore conceptuellement stable pour permettre plus de transformations. Les items où une troisième transformation doit être appliquée au résultat des deux premières ne sont pas réussis par les sujets de niveau 2A.

À l'*Épreuve des Vues Orthogonales Codées* la relation invariante est constituée de la relation entre couche de cubes horizontale et couche de cubes verticale construite à la période intuitive. Cette relation invariante permet à la fin de la période intuitive de former un premier plan formé de cubes. Cette couche de référence, qui devient invariante à la période concrète, permet au sujet de dessiner et coder l'ajout de cubes situés à l'avant plan. L'item suivant est un exemple de niveau 2A pour VOC:

La période 2A correspond, en ce qui concerne VOC, à la capacité de représenter des ajouts de cubes devant la couche frontale qui sert de référence. Cette couche de référence n'est pas suffisamment définie pour permettre le codage d'items de niveau 2B contenant des cubes devant et des cubes derrière elle. Aux items 2B, les sujets de niveau 2A considèrent comme référence, tantôt les cubes au premier plan, tantôt ceux du second plan (Noelting, Rousseau & Coudé 1995). Cette labilité du référent ne permet donc pas de coder adéquatement la figure.

b) La phase B - Mise en relation de l'invariant avec des variations

Avec la phase B de la période opératoire concrète (tableau 5), la relation invariante s'articule avec les variations en jeu dans la tâche. Pour nos trois épreuves, l'articulation

de l'invariant avec les données du problème permet au sujet d'exploiter d'une manière plus exhaustive les caractéristiques de la relation invariante, et de plus reconnaître la relation invariante dans des situations où elle n'apparaît pas de façon manifeste.

Tableau 5 *Les items de niveau 2B*

<i>Épreuve</i>	<i>Item</i>
<i>Concentrations</i>	<i>C11: 1,2 vs 2,4</i> <i>C12: 2,1 vs 4,2</i>
<i>Coffrets</i>	<i>L8: Or: Ce n'est pas vrai que le portrait n'est pas ici, faux</i>
<i>VOC</i>	<i>V1: Fenêtre</i>  

Pour *Concentrations* cette articulation de la relation invariante avec les données du problème prend la forme non plus d'un rapport jus/eau 1 pour 1, mais d'un rapport 1 pour 2 (ou 2 pour 1) comme l'illustrent nos deux items de ce niveau: À ces items, l'articulation de la relation invariante vis à vis la variation quantitative est plus complète qu'à la phase précédente car la réussite de ces items implique une dissociation de l'égalité entre jus-eau et celle entre ensembles A-B. L'égalité des ratios est donc plus difficilement identifiable de par l'émergence de cette non-équivalence des attributs à l'intérieur des mélanges. La différenciation entre la qualité (ratio jus/eau) et la quantité (nombre de verres de jus et d'eau) est plus complète qu'aux items 2A, mais n'est toujours pas achevée. Ainsi la réussite des problèmes 2B est facilitée par les relations facteur-multiple présentes à deux niveaux. Premièrement, entre nombre de verres de jus dans A et nombre de verres de jus dans B, nombre de verres d'eau dans A et nombre de verres d'eau dans B et deuxièmement, entre nombre de verres de jus et nombre de verres d'eau pour l'ensemble A ainsi que pour l'ensemble B. Seule l'égalité jus/eau à l'intérieur des ensembles est disparue.

Cette articulation de la relation invariante de la phase B se retrouve également pour l'item 2B de l'épreuve des *Coffrets*. L'épreuve des *Coffrets* à ce niveau porte sur l'articulation de l'invariant avec des transformations plus complexes. La proposition invariante peut

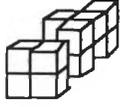
maintenant être articulée à des transformations de troisième niveau. La relation invariante établie entre proposition et transformation qui émergeait à la phase précédente devient plus solide et le sujet peut appliquer des transformations successives (ce n'est pas vrai + n'est pas ici + faux = pas ici).

Les items 2B de *Vues Orthogonales Codées*, mettent en jeu une meilleure articulation des données avec une relation invariante plus stable: Des cubes situés derrière la couche de référence peuvent être représentés par le sujet. La couche de référence devient suffisamment stable conceptuellement pour servir de référence aux cubes devant et derrière la couche de référence.

c) La phase C Coordination de l'invariant et des variations

Avec la phase C de la période opératoire concrète, la relation invariante devient complètement coordonnée avec les variations en jeu dans la tâche. Dans chaque contenu des trois épreuves, l'articulation de la relation invariante avec les données devient complète, de manière à en exploiter les caractéristiques accessibles à la pensée opératoire concrète.

Tableau 6 Les items de niveau 2C

<i>Épreuve</i>	<i>Item</i>
<i>Concentrations</i>	C*: 2,3 vs 4,6 C*: 2,4 vs 3,6
<i>Coffrets</i>	L9: Or: Le portrait n'est pas ici, faux Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, faux L10: Or: Le portrait n'est pas ici, vrai Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, vrai
<i>VOC</i>	<p>V2: <i>Sphinx</i></p>   <p>V3: <i>Boa</i></p>  

La coordination entre invariant et variation à *Concentrations* se présente comme la coordination entre le ratio jus/eau et la variation du nombre de verres entraînant la non-égalité des quantités de jus et d'eau. La relation invariante devient entièrement indépendante de la variation quantitative. Les items de ce niveau ne possèdent plus qu'une seule relation facteur-multiple comme appui de la covariation. Il s'agit, soit, de la relation entre ensemble A et ensemble B ou de la relation entre nombre de verres de jus et d'eau à l'intérieur de chaque ensemble comme le montrent ces deux items: C'est seulement à ce niveau que la relation invariante, soit le ratio jus/eau, est vue comme indépendante des quantités de verres. L'évaluation du goût comme relation invariante pouvant mener à la comparaison par covariation est différenciée de l'effet du nombre de verres seul.

À *Coffrets*, la relation invariante est coordonnée avec les variations impliquées par les diverses transformations de la logique propositionnelle déductive, et permet la déduction à partir de la mise en relation de deux propositions comportant des transformations. La coordination de la relation invariante proposition-transformation et des diverses relations propositionnelles donne au sujet les moyens de maîtriser la logique propositionnelle déductive. Les items 2C de *Coffrets* sont les suivants: Enfin, à *Vues Orthogonales Codées*, la relation invariante entre rangée verticale et colonne horizontale, qui donne une couche de référence, est coordonnée avec les multiples positions qu'occupent les cubes. La couche de référence acquiert une généralité au niveau 2C qui permet de coder des cubes non-adjacents à la couche de référence:

La conduite 2C pour les items de VOC consiste à considérer les cubes du premier plan comme couche de référence et de coder transitivement les cubes qui sont situés derrière (Noelting, 1993).

4.2 La période opératoire formelle

Les items de cette période se caractérisent par l'utilisation d'un invariant plus complexe qu'à la période précédente, soit la période concrète, où la relation invariante s'est graduellement coordonnée avec les variations en jeu dans la tâche. La période opératoire concrète se caractérisait par une relation trouvée entre composantes et utilisée comme relation invariante. Avec la période opératoire formelle apparaît la nécessité de concevoir invariante la relation entre relations. L'établissement d'un invariant entre les relations correspond à ce que Piaget (1967, 1977a & 1977b) appelle un «réfléchissement des opérations» où le sujet opère sur des opérations. La période opératoire formelle consiste

en l'application d'une relation, non plus entre composantes, mais entre les relations précédemment établies entre composantes. Ce nouvel invariant (la relation entre relations) permet de dépasser la représentation concrète de l'objet et de construire un système de référence abstrait et externe à l'objet, et permet d'appréhender le problème dans sa totalité. Chez Piaget et Garcia (1983), la période opératoire formelle, fait apparaître la capacité d'effectuer des transformations trans-objet sur la base des caractéristiques des relations entre objets, soit à partir des transformations intra-objet construites à la période précédente, la période concrète.

La relation invariante du niveau concret n'est pas adéquate pour traiter un problème de niveau formel, qui lui provoque une perturbation (au sens piagétien) de par sa structure. Une majoration du schème est nécessaire pour que cette perturbation soit dépassée. Le niveau formel implique la construction d'un invariant abstrait, la relation de relation, afin d'appréhender l'ensemble des éléments du problème.

4.2.1 La pensée opératoire formelle dans les trois épreuves

Concentrations

Pour l'épreuve des *Concentrations*, l'invariant structural est le dénominateur commun. Ce dénominateur commun consiste en une relation entre deux rapports constituant eux-mêmes des relations. La différenciation entre quantité et qualité qui est acquise à l'étape précédente fait maintenant place à une différenciation entre rapports et dénominateur commun. Dans une première phase, cette différenciation ne sera que partielle, mais deviendra complète à la fin de la période formelle.

Coffrets

À *Coffrets*, l'invariant est constitué de la relation de conjonction (telle que décrite en logique propositionnelle) entre propositions subissant des transformations. Cette conjonction est la conjonction d'énoncés menant à la déduction. Nous avons vu plus tôt que la période opératoire concrète à *Coffrets* portait sur l'élaboration de la relation intra-propositionnelle entre proposition et transformation menant à la déduction. La période opératoire formelle porte, quant à elle, sur l'hypothético-déduction. La pensée formelle dépasse les données réelles, et leur organisation faite de conjonctions d'énoncés, pour porter sur une nouvelle notion, celle de possibilité. Elle permet la construction

d'hypothèses et leur emplacement dans un système de vérification des énoncés basé sur la disjonction entre hypothèses. La résolution du problème ne porte plus sur la proposition *Le portrait est ici* mais sur la situation globale avec toutes ses possibilités.

Vues Orthogonales Codées

En ce qui concerne *Vues Orthogonales Codées*, l'invariant est la relation entre couche de références et objet à coder constituant un référent en dehors de l'objet à coder. Le sujet doit donc attribuer une position à chaque cube par rapport à une couche de référence qui n'est pas manifeste dans l'objet. On assiste donc à l'élaboration d'une couche de référence abstraite pouvant intégrer de part et d'autre les ajouts orthogonaux. La période concrète portait sur une stratégie positionnelle, où une couche de référence apparente constituée de cubes détermine la position de chaque cube. La pensée formelle permet un détachement vis-à-vis cette couche de référence concrète, donc un détachement vis-à-vis des relations inter-figurales pour élaborer des relations trans-figurales affranchies de la configuration de l'objet à coder. Les cubes et les vides occuperont chacun une place dans l'espace par rapport à une couche de référence non-limitée à l'objet à coder.

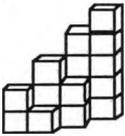
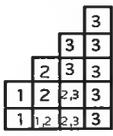
Au contraire des opérations concrètes qui se caractérisent par l'utilisation d'un référent concret, la période formelle implique la construction d'un référent abstrait. Ce référent est plus général et permet d'analyser le problème sans être limité à la configuration du problème.

4.2.2 Les phases de composition de la période opératoire formelle

Les phases de développement A, B et C de la pensée opératoire formelle correspondent à des étapes de préparation et d'achèvement comme celles de la pensée opératoire concrète. Les composantes de la tâche forment un nouvel invariant qui, lorsque saisi par le sujet, lui permet de manipuler un nouveau concept. Ce nouveau concept constitue une nouvelle unité cognitive, construite à partir d'une relation entre relations, alors qu'au niveau concret, l'invariant est une relation entre éléments. À la première phase de coordination, la relation entre relations qui émerge comme invariant n'est que peu différenciée des autres caractéristiques de la tâche.

a) Phase A - Émergence de l'invariant: la relation entre relations

Tableau 7 Les items de niveau 3A

Épreuve	Item
Concentrations	C13: 2,1 vs 2,3 C14: 2,5 vs 1,3
Coffrets	L11: Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas dans le coffret Or, Une proposition est vraie L12: Or: Le portrait est ici Argent: Le portrait n'est pas ici Une proposition est fausse
VOC	V4: Colonnes   V5: Tours  

À *Concentrations*, cet invariant, le dénominateur commun, permet de comparer des ratios. Le sujet n'a cependant pas à construire lui-même ce dénominateur commun, car il peut utiliser le nombre de verres présents dans un ensemble comme référent. Dans le cas de l'item C13, les deux numérateurs sont identiques: il est donc possible de comparer directement les ratios. L'item C14 implique une covariation: suivant la multiplicité qui existe entre les numérateurs, on peut comparer 1,3 multiplié par 2 = 2,6 à 2,5. La distinction des aspects multiplicatifs et additifs n'est cependant pas complète et le sujet doit baser son raisonnement sur une multiplicité existant, soit entre dénominateurs, ou soit entre numérateurs pour chacun des ensembles. De par cette multiplicité, le sujet peut utiliser un des ratios comme référent, soit le nombre de verres de jus dans un des mélanges comme dénominateur commun. Des équivalences peuvent ensuite être posées pour comparer les deux mélanges.

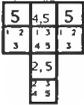
La nouvelle relation à *Coffrets* est la relation entre propositions soit, l'hypothèse. Le caractère hypothétique d'un énoncé fait son apparition. À cette première phase du niveau

formel, le sujet effectue la lecture de deux hypothèses distinctes et comprend le caractère hypothétique de ces conjonctions de propositions. Toutefois, la disjonction entre hypothèses et la conjonction entre propositions n'est pas encore effectuée. Le sujet est incapable de traiter indépendamment chacune des hypothèses et de choisir la plus cohérente. Un sujet de ce niveau est en mesure de réussir les items L11 et L12, car ces problèmes sont constitués de telle sorte que le sujet n'a pas à choisir une hypothèse pour réussir ces items. Ce niveau 3A à *Coffrets* concerne l'émergence de la notion d'hypothèse.

Pour ce qui est de *Vues Orthogonales Codées*, la nouvelle relation invariante émerge la couche de référence abstraite. Cette couche de référence abstraite est construite à partir de la couche de référence concrète contenue dans la figure. Le sujet doit prendre la couche de référence partielle, et l'étendre conceptuellement pour toute la figure afin qu'elle serve de base aux ajouts de cubes.

b) Phase B - Mise en relation de l'invariant avec des variations

Tableau 8 Les items de niveau 3B

<i>Épreuve</i>	<i>Item</i>
<i>Concentrations</i>	C15: 2,3 vs 3,4 C16: 3,5 vs 1,3
<i>Coffrets</i>	L15: Or: Le portrait est ici Argent: Le portait n'est pas ici Plomb: Le portait est ici Une proposition vraie, deux fausses L16: Or: Le portrait n'est pas ici Argent: Le portait n'est pas dans l'Or Plomb: Le portait est dans l'Argent Une proposition fausse, deux vraies L17: Or: Le portrait n'est pas ici Argent: Le portait n'est pas dans l'Or Plomb: Le portait n'est pas dans l'Argent Une proposition fausse, deux vraies L18: Or: Le portrait est ici Argent: Le portait n'est pas ici Plomb: Le portait n'est pas dans l'Or Une proposition vraie, deux fausses
<i>VOC</i>	  <p>V6: Vaisseau</p>

En ce qui concerne l'épreuve des *Concentrations*, l'invariant constitué de la relation entre les ratios et le dominateur commun, doit être construit par le sujet. Il n'est plus possible de garder un ratio comme invariant, comme c'était le cas à la première phase du niveau formel. Il n'existe pas de relation facteur-multiple entre numérateurs ou dénominateurs, à partir de laquelle un des ensembles pourrait être transformé par covariation, puis comparé au premier.

À *Coffrets*, l'invariant constitué de l'hypothèse est un peu plus articulé avec les données. Aux items 3B, une variable apparaît: la nécessité de choisir une hypothèse. Le sujet doit comparer les hypothèses entre elles, et différencier la conjonction entre propositions et la

disjonction entre hypothèses, afin de traiter chaque hypothèse séparément. Il procède en vérifiant toutes les combinaisons possibles de propositions et valeurs de vérité.

À *Vues Orthogonales Codées*, la réussite des items 3B nécessite l'élaboration d'une couche de référence à partir d'une couche de référence partielle présente dans la figure. Mais à la différence de la phase A, cette couche de référence partielle se distingue des autres cubes et permet de coder des ajouts de part et d'autre de la figure.

c) *Phase C Coordination de l'invariant et de la variable*

Tableau 9 *Les items de niveau 3C*

<i>Épreuve</i>	<i>Item</i>
<i>Concentrations</i>	<p>C18: ▼▽▽ vs. ▼▼▽▽▽ ▼ = 40%, ▽ = 10%, ▽ = 0%</p> <p>C19: ▼▼▽▽▽ vs. ▼▽▽▽ ▼ = 40%, ▽ = 10%, ▽ = 0%</p>
<i>Coffrets</i>	<p>L*: Or: Pas ici - Ds Ag Argent: Pas ds Or - Ds Pb Plomb: Pas ici - Ds Or Un coffret a 2 propositions fausses, un a 2 propositions vraies, et un a une vraie et une fausse,</p>
<i>VOC</i>	V7: Règle systématique de codage pouvant s'appliquer à tous les items

Cette période représente pour *Concentrations* la forme la plus complexe de l'invariant, le dénominateur commun. Le dénominateur commun prend ici une signification étendue. Les verres sont tous au dénominateur 100, (2 verres à 40/100, 1 à 10/100, 2 à 0/100, etc.). Toutefois, l'addition des verres d'un pourcentage donné modifie et le numérateur et le dénominateur. Ainsi, l'addition de deux verres à 40% ne forme plus des centièmes mais des deux centièmes (2 verres à 40% = un mélange à 80/200). Le sujet doit donc remettre à un dénominateur commun les 80/200 + 10/100 + 0/200. Il doit donc différencier les différents niveaux de dénominateur commun.

L'épreuve des *Coffrets* à la phase 3C se manifeste par une stratégie où les propositions sont agencées avec les valeurs de vérité afin de créer une suite d'énoncés cohérents. Par cette stratégie, les sujets n'ont pas besoin de poser une à une toutes les hypothèses possibles, et ils manifestent une maîtrise des propriétés de la logique propositionnelle. Le sujet construit directement la ou les hypothèses cohérentes par la combinaison des propositions et des valeurs de vérité. À *Coffrets*, le sujet est capable de combiner les énoncés et leur valeur de vérité de manière à articuler systématiquement la ou les combinaisons cohérentes. Il n'est donc plus nécessaire pour le sujet de vérifier chacune des hypothèses à tour de rôle.

Pour *Vues Orthogonales Codées*, cette phase correspond à la coordination de la couche de référence avec les différents cubes. Pour que ce type de codage soit possible, il faut qu'une couche de référence abstraite soit construite à l'extérieur de l'objet. Le sujet pose une couche de référence en dehors de la figure à partir de laquelle les cubes sont traités comme une position dans l'espace.

Chapitre V

RÉSULTATS

5.1 Les analyses de Rasch¹¹

Deux procédures distinctes sont adoptées. Nous avons d'abord effectué des analyses de Rasch sur chacune des épreuves prises individuellement afin de vérifier l'ajustement des données de chaque épreuve au modèle de Rasch. Ces analyses nous permettent de s'assurer de l'unidimensionnalité des épreuves, ce qui est essentiel à la hiérarchisation des items sur un même continuum de difficulté. Les items qui ne s'ajustent pas contredisent le construit de l'épreuve. Enfin, on vérifie si les items présentent une hiérarchie de niveaux de difficulté et que cette hiérarchie correspond aux niveaux de développement attribués aux items.

Afin de tester l'homogénéité des items de chaque épreuve, il convient ensuite de regrouper tous les items indépendamment des épreuves et d'effectuer une analyse de Rasch sur l'ensemble des items. Cette procédure nous permet de comparer les trois épreuves via les statistiques des items. On évalue d'abord l'homogénéité de l'ensemble des items par l'ajustement des items, afin de détecter ceux qui ne se présentent pas sur un même trait latent que l'ensemble. Les items qui présentent un manque d'ajustement sont ceux qui ne peuvent être positionnés sur le trait latent mesuré par l'ensemble des autres items.

Les tableaux 10, 11 et 12 nous donnent un résumé des statistiques calculées par l'analyse de Rasch. Chaque rangée du tableau correspond à un item, les items sont ordonnés en ordre de difficulté, du plus difficile en haut, au plus facile en bas. Le score brut correspond au nombre de sujets ayant réussi l'item et le compte est le nombre de sujets

¹¹ Les analyses de Rasch sont effectuées à l'aide du logiciel *Bigsteps* (Linacre & Wright, 1993).

soumis à l'analyse. La mesure de difficulté des items et l'erreur standard sont exprimées en *logit* (voir explications à la section 2.3.1).

L'ajustement des items au modèle probabiliste de Rasch est déterminé par les valeurs *infit* et *outfit* exprimées en carrés moyens et de manière standardisée (statistique *t*.) Rappelons que les indices d'ajustement indiquent les items qui s'éloignent des spécifications du modèle de Rasch et contredisent l'unidimensionalité sous-jacente aux épreuves. Les items présentant des valeurs d'ajustement *infit* ou *outfit* standardisées à l'intérieur des limites -2.0 à 2.0 s'ajustent au modèle de Rasch selon un alpha $p < .05$, généralement considéré satisfaisant (Wright & Stone, 1979). Les valeurs négatives et positives des indices d'ajustement n'ont toutefois pas la même signification. Les valeurs plus grandes ou égales à 2.0 signifient un manque d'ajustement au modèle et sont attribuées aux items qui présentent des patrons de réponse irréguliers. Celles inférieures ou égales à -2.0 concernent les items qui s'ajustent mieux que prévu au modèle de Rasch, donc qui présentent un patron de réponse plus ordonné que ce à quoi on serait en mesure de s'attendre avec l'échantillon. L'ajustement des données au modèle de Rasch est adéquat pour les items dont les valeurs d'ajustement sont en deçà de 2.0.

Les statistiques *infit* et *outfit* n'ont toutefois pas la même signification. L'indice *infit* est plus sensible aux réponses inattendues pour les items dont le niveau de difficulté est près du niveau d'habileté des sujets. L'indice *outfit*, quant à lui, concerne d'avantage les items dont le niveau de difficulté est éloigné du niveau d'habileté des sujets. Il est cependant recommandé d'utiliser la statistique *infit* comme critère d'ajustement des items au modèle de Rasch (M. Wilson, 1995, communication personnelle, 1er Juin, 1995). Enfin, un indice de corrélation point-bisérial, entre chaque item et le reste de l'épreuve, est fourni par l'analyse de Rasch pour détecter les sujets qui présentent un patron de réponse incohérent avec la nature du test¹².

Bien que les items de niveau intuitif des épreuves *Concentrations* et *Coffrets* soient inclus dans les analyses de Rasch, notre étude porte uniquement sur les niveaux de développement opératoire concret et opératoire formel. Le niveau d'habileté des sujets de l'échantillon est trop grand par rapport au degré de difficulté des items de niveau intuitif. En conséquence, le taux de réussite est trop élevé pour que les résultats du traitement de ces items par l'analyse de Rasch puissent être interprétés plus avant.

¹² Lors d'une analyse de Rasch préliminaire, 14 sujets ont présenté une corrélation point-bisériale négative, et ont été écartés pour les analyses subséquentes.

5.1.1 Analyses de Rasch effectuées sur chacune des épreuves

Les résultats de l'analyse des 17 items de l'épreuve de *Concentrations* sont présentés au tableau 10. Les valeurs *infit* et *outfit* standardisés se présentent sous la barre des 2.0, donc tous les items s'ajustent adéquatement au modèle de Rasch ($p < .05$). En ce qui concerne la hiérarchie des items, tous les items de *Concentrations* affichent celle postulée par l'analyse structurale. On note à cet effet un saut très important dans l'échelle de difficulté entre les items C12 de niveau 2B et C14 de niveau 3A avec des mesures *logit* de .72 et 4.21 respectivement. Les items C13 de niveau 3A et C15 de niveau 3B affichent également une différence importante de difficulté: 4.21 et 5.45 respectivement.

Tableau 10. Analyse de Rasch de *Concentrations*: statistiques d'items par ordre de mesure

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
C19	3C	30	314	7.13	.23	1.13	1.0	1.01	.0	.27
C18	3C	34	314	6.93	.22	1.13	1.1	3.26	.4	.28
C16	3B	63	314	5.71	.19	.67	-3.6	.68	-.2	.53
C15	3B	70	314	5.45	.19	.54	-5.3	.25	-.6	.59
C13	3A	106	314	4.21	.18	.81	-1.9	1.17	.2	.58
C14	3A	106	314	4.21	.18	1.01	.1	1.55	.5	.52
C12	2B	227	314	.72	.18	.81	-2.2	1.25	.4	.55
C11	2B	244	314	.15	.19	.78	-2.3	1.36	.4	.54
C9	2B	270	314	-.91	.22	1.12	.9	1.74	.5	.44
C10	2A	278	314	-1.33	.24	.84	-1.2	.73	-.2	.49
C8	1C	298	314	-2.94	.35	.79	-.9	.15	-.4	.47
C5	1B	299	314	-3.06	.36	1.00	.0	9.90	4.4	.32
C6	1C	302	314	-3.51	.40	.74	-.9	.13	-.3	.45
C7	1B	302	314	-3.51	.40	.62	-1.4	9.90	1.3	.41
C4	1C	308	314	-4.83	.53	1.63	1.6	9.90	.5	.17
C2	1A	313	314	-7.22	1.04	1.01	.0	.04	-.1	.15
C3	1A	313	314	-7.22	1.04	.70	-.4	.01	-.1	.17
C1	0	314	314	-7.98	1.44	Mesure Minimale Estimée				
Moyenne		210.	314.	.00	.36	.90	-.9	2.53	.4	
E.T.		108.	0.	4.67	.27	.25	1.7	3.50	1.1	

314 sujets et 17 items analysés

L'analyse de Rasch pour les 16 items de *Coffrets* est présentée au tableau 11. Un seul item, l'item L11, présente un indice d'ajustement *infit* significatif ($t=2.0$). Tous les autres items s'ajustent adéquatement au modèle de Rasch ($p < .05$). La hiérarchie établie par l'analyse de Rasch ne se révèle pas significativement différente de celle postulée par l'analyse structurale des items. Les 2 cas d'inversion dans la hiérarchie d'items, L8 de niveau 2B ($logit = -1.22$, $err\ std = .23$) et L7 de niveau 2A ($logit = -1.27$, $err\ std = .23$), et puis L10 de niveau 2C ($logit = -.24$, $err\ std = .19$) et L11 de niveau 3A ($logit = -.43$,

$err\ std = .20$), ne présentent pas de différences de mesures significativement différentes ($p < .05$). La hiérarchie de difficulté établie par l'analyse de Rasch n'est donc pas différente des niveaux structuraux.

Tableau 11. *Analyse de Rasch de Coffrets: statistiques d'items par ordre de mesure*

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
L18	3B	57	319	4.83	.18	.80	-2.1	1.92	1.2	.31
L16	3B	63	319	4.64	.17	1.08	.8	1.51	.8	.26
L17	3B	77	319	4.24	.16	.99	-.2	.90	-.2	.33
L15	3B	78	319	4.21	.16	1.10	1.0	1.19	.4	.30
L12	3A	236	319	.57	.17	.89	-1.2	.82	-.7	.55
L10	2C	262	319	-.24	.19	.73	-2.6	.75	-.6	.62
L11*	3A	267	319	-.43	.20	1.25	2.0	.82	-.4	.40
L9	2C	273	319	-.67	.20	1.00	.0	.60	-.9	.50
L7	2A	286	319	-1.27	.23	1.03	.2	1.34	.4	.45
L8	2B	285	319	-1.22	.23	1.04	.3	.61	-.6	.46
L4	2A	290	319	-1.49	.24	.91	-.6	.36	-1.1	.51
L6	2A	295	319	-1.80	.26	.74	-1.7	.21	-1.3	.56
L3	1B	301	319	-2.24	.29	1.03	.2	8.56	2.6	.38
L2	1B	302	319	-2.33	.29	1.05	.3	3.58	1.3	.32
L5	1B	302	319	-2.33	.29	.83	-.9	.86	-.1	.44
L1	1A	316	319	-4.48	.60	1.19	.4	4.80	.6	-.03
Moyenne		231.	319.	.00	.24	.98	-.3	1.80	.1	
E.T.		95.	0.	2.81	.10	.15	1.2	2.10	1.0	

319 sujets et 16 items analysés

* Item qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

Le tableau 12 nous montre les résultats de l'analyse de Rasch pour les 7 items de *Vues Orthogonales Codées*. Ici également tous les items s'ajustent adéquatement au modèle de Rasch ($p < .05$). Cependant, l'item V2 ($t=2.2$) présente un *outfit* légèrement significatif. Il s'agit, en fait, d'un item facile et l'on sait que cette statistique est plus sensible aux inversions de patrons de réponses pour les sujets au niveau d'habileté loin de celui de l'item. On peut présumer que l'item V2 est raté par négligence ou distraction par des sujets au niveau d'habileté élevé. Pour cette épreuve également, la hiérarchie des items postulée à partir du niveau de complexité structurale, est vérifiée par l'analyse de Rasch. Notons que le peu d'items dont nous disposons, pour cette épreuve, ne permet pas de constater de saut dans l'échelle de difficulté.

Tableau 12. *Analyse de Rasch de Vues Orthogonales Codées: statistiques d'items par ordre de mesure*

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
V7	3C	13	307	4.83	.31	1.17	.8	.81	-.1	.12
V6	3B	62	307	2.31	.18	.79	-2.0	.53	-1.3	.42
V5	3A	107	307	1.05	.16	.95	-.7	.93	-.3	.37
V4	3A	134	307	.43	.15	.87	-1.9	.78	-1.3	.40
V3	2C	214	307	-1.34	.16	.88	-1.5	.92	-.3	.32
V2	2C	241	307	-2.06	.17	1.11	1.1	2.20	2.2	.14
V1	2B	299	307	-5.21	.38	1.22	.7	3.18	.7	.01
<i>Moyenne</i>		153.	307.	.00	.22	1.00	-.5	1.33	-.1	
<i>E.T.</i>		95.	0.	3.00	.09	.15	1.3	.90	1.1	

307 sujets et 7 items analysés

5.1.2 Les analyses de Rasch effectuées sur les épreuves groupées

Les résultats de l'analyse de Rasch des 28 items avec les trois épreuves confondues sont présentés au tableau 13. On remarque un indice *infit* significatif pour les items V2 ($t=2.6$), V3 ($t=3.1$), V4 ($t=3.9$), V5 ($t=4.0$) et L16 ($t=2.0$). La figure 5 montre la position relative des items sur l'échelle de difficulté *logit* et illustre la discontinuité dans l'échelle de difficulté qui sépare les items V4, 1.95 *logit* et V3, .51 *logit*. Cette différence de niveaux de difficulté marque le passage de la pensée opératoire concrète supérieure (2C) à la pensée opératoire formelle inférieure (3A).

On remarque également que le niveau 2A de *Concentrations* est plus difficile que celui de *Coffrets* et *Vues Orthogonales Codées*. De la même façon, le niveau 2B de *Concentrations* apparaît plus difficile que celui de *Coffrets*, et le niveau 2C de *Coffrets* est, quant à lui, plus facile que celui de *Vues Orthogonales Codées*.

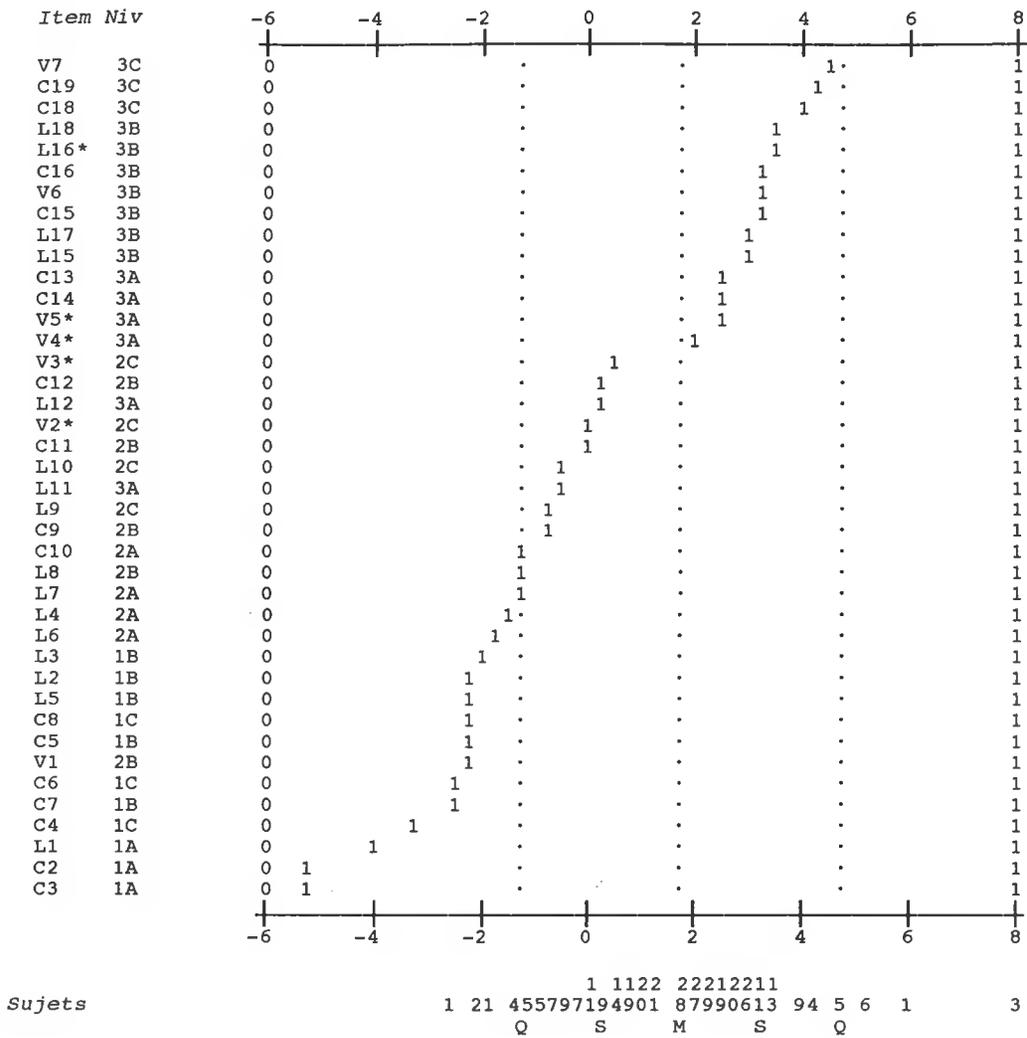
Tableau 13. Analyse de Rasch des trois épreuves: statistiques d'items par ordre de mesure

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
V7	3C	35	333	4.61	.20	1.00	.0	.93	-.2	.28
C19	3C	49	333	4.13	.17	.86	-1.4	.55	-1.6	.41
C18	3C	53	333	4.01	.17	.90	-1.0	.58	-1.6	.41
L18	3B	71	333	3.55	.15	1.02	.3	1.16	.6	.34
L16*	3B	77	333	3.41	.15	1.17	2.0	1.25	1.0	.28
C16	3B	82	333	3.30	.15	.80	-2.8	.59	-2.3	.50
V6	3B	84	333	3.26	.15	.98	-.3	1.07	.4	.38
C15	3B	89	333	3.16	.14	.77	-3.5	.57	-2.7	.53
L17	3B	91	333	3.12	.14	1.12	1.7	1.02	.1	.33
L15	3B	92	333	3.10	.14	.99	-.1	.93	-.4	.40
C13	3A	125	333	2.48	.13	.92	-1.5	1.02	.1	.46
C14	3A	125	333	2.48	.13	.94	-1.1	1.04	.3	.45
V5*	3A	129	333	2.41	.13	1.25	4.0	1.51	3.3	.26
V4*	3A	156	333	1.95	.13	1.23	3.9	1.38	2.9	.30
V3*	2C	236	333	.51	.14	1.25	3.1	1.30	1.7	.32
C12	2B	246	333	.30	.15	.90	-1.3	.72	-1.7	.52
L12	3A	250	333	.22	.15	.87	-1.7	.75	-1.4	.53
V2*	2C	260	333	-.02	.16	1.25	2.6	1.61	2.4	.29
C11	2B	263	333	-.10	.16	.90	-1.2	.72	-1.4	.51
L10	2C	276	333	-.44	.17	.78	-2.4	.78	-.9	.55
L11	3A	281	333	-.59	.17	1.14	1.3	1.18	.6	.33
L9	2C	287	333	-.78	.18	.93	-.7	.84	-.5	.45
C9	2B	289	333	-.85	.19	1.09	.8	.84	-.5	.36
C10	2A	297	333	-1.15	.20	1.00	.0	.70	-.9	.40
L8	2B	299	333	-1.23	.20	.99	-.1	.96	-.1	.38
L7	2A	300	333	-1.27	.21	.98	-.1	1.19	.4	.37
L4	2A	304	333	-1.45	.22	.88	-.8	1.10	.2	.42
L6	2A	309	333	-1.71	.23	.75	-1.7	.42	-1.5	.48
L3	1B	315	333	-2.08	.26	.95	-.3	1.29	.4	.33
L2	1B	316	333	-2.15	.27	1.07	.4	2.63	1.8	.22
L5	1B	316	333	-2.15	.27	.92	-.4	1.71	.9	.34
C8	1C	317	333	-2.23	.28	.93	-.3	.36	-1.3	.35
C5	1B	318	333	-2.31	.29	1.00	.0	2.14	1.2	.25
V1	2B	318	333	-2.31	.29	.98	-.1	1.60	.7	.29
C6	1C	321	333	-2.58	.31	1.01	.0	.50	-.8	.27
C7	1B	321	333	-2.58	.31	1.03	.1	1.74	.8	.23
C4	1C	327	333	-3.37	.43	1.01	.0	2.48	.9	.13
L1	1A	330	333	-4.12	.59	1.11	.2	8.97	1.9	.05
C2	1A	332	333	-5.26	1.01	1.03	.0	.49	-.2	.06
C3	1A	332	333	-5.26	1.01	.88	-.1	.04	-.6	.18
C1	0	333	333	-5.97	1.42	Mesure Minimale Estimée				
Moyenne		225.	333.	.00	.25	.99	-.1	1.27	.1	
E.T.		104.	0.	2.69	.20	.13	1.6	1.35	1.3	

333 sujets et 40 items analysés

* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

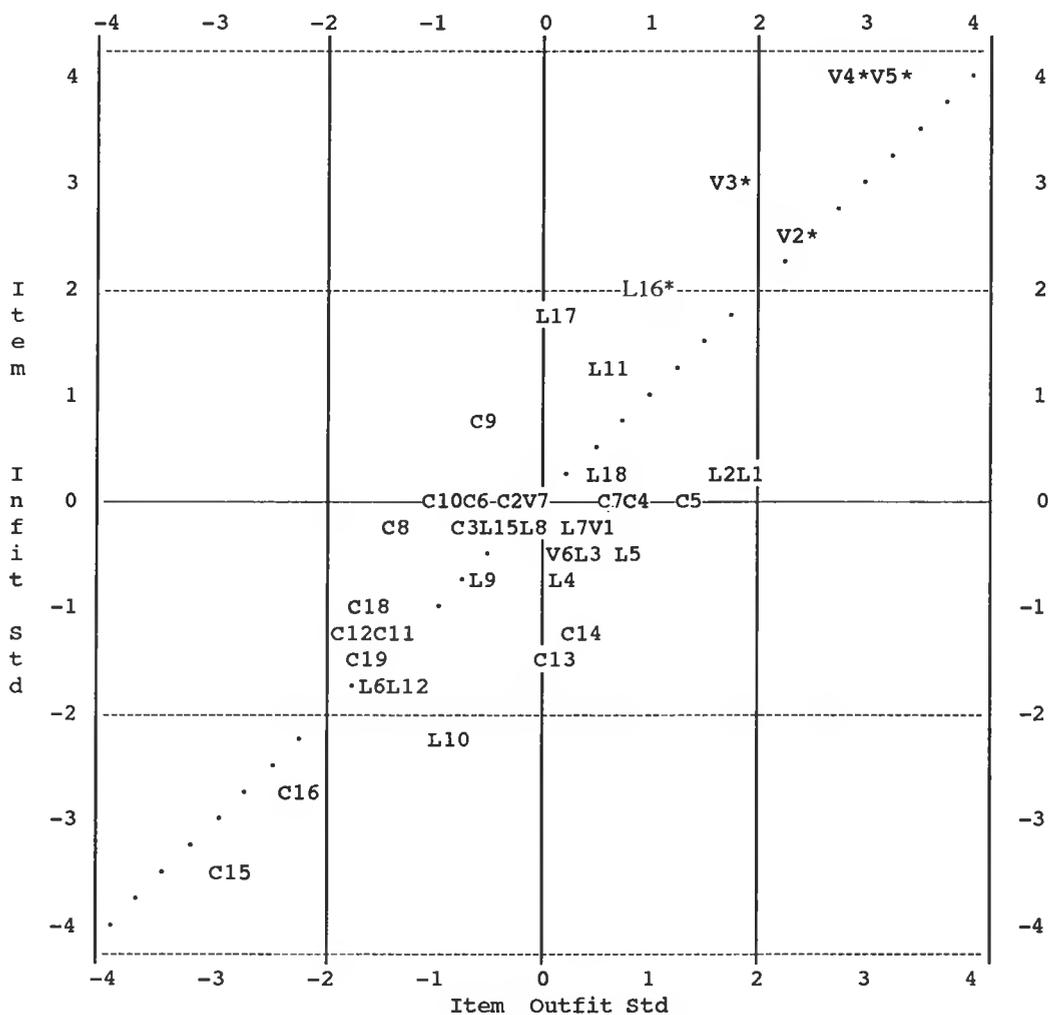
Figure 5. Analyse de Rasch des trois épreuves: hiérarchie de difficulté des items



* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

La figure 6 montre les 28 items disposés dans un diagramme où l'abscisse et l'ordonnée sont respectivement la valeur *outfit* et la valeur *infit*, on y voit les cinq items qui ne s'ajustent pas au modèle de Rasch. Notons qu'avec un alpha de 0.05 on peut s'attendre d'obtenir 5 items sur 100 qui ne s'ajustent pas au modèle par la simple fluctuation de l'échantillon, ce qui correspond à deux items sur 40.

Figure 6. Diagramme des valeurs *Infit* et *Outfit* pour les trois épreuves



* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

Le tableau 14 et la figure 7 montrent les résultats de l'analyse de *Concentrations* et de *Coffrets* ensemble. Deux items de *Coffrets* présentent une valeur *infit* significative L16 ($t=2.8$) et L17 ($t=3.0$). On remarque à la figure 5 un saut très important dans l'échelle de difficulté des items logico-arithmétiques qui peut s'expliquer par l'absence d'items 2C dans *Concentrations* et par la «facilité» des items 3A de *Coffrets* par rapport aux items 2C, ainsi que par rapport aux items 3A de *Concentrations*. La hiérarchie des items ne diffère pas significativement de celle attendue ($p < .05$).

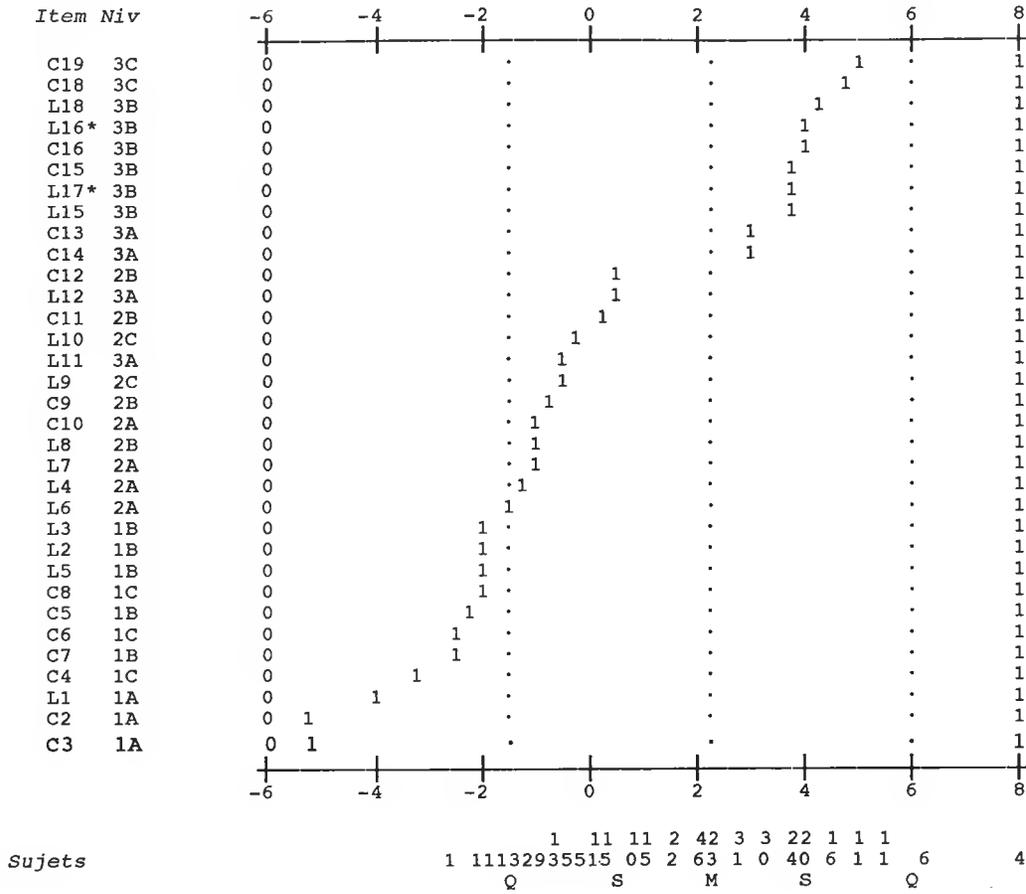
Tableau 14. *Analyse de Rasch de Concentrations et Coffrets: statistiques d'items par ordre de mesure*

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
C19	3C	48	332	4.91	.18	.88	-1.2	.49	-1.4	.40
C18	3C	52	332	4.78	.18	.91	-.9	.57	-1.2	.40
L18	3B	70	332	4.27	.16	1.13	1.5	1.64	1.6	.32
L16*	3B	76	332	4.12	.16	1.25	2.8	1.63	1.7	.29
C16	3B	81	332	4.00	.15	.78	-3.0	.52	-2.0	.51
C15	3B	88	332	3.83	.15	.69	-4.6	.45	-2.6	.56
L17*	3B	90	332	3.79	.15	1.24	3.0	1.32	1.1	.33
L15	3B	91	332	3.77	.15	1.03	.4	1.35	1.2	.40
C13	3A	124	332	3.08	.14	.86	-2.2	1.06	.3	.51
C14	3A	124	332	3.08	.14	.92	-1.2	1.15	.8	.48
C12	2B	245	332	.60	.16	.99	-.1	.80	-.9	.52
L12	3A	249	332	.51	.16	1.00	.0	1.01	.1	.51
C11	2B	262	332	.16	.17	.95	-.5	.77	-.8	.53
L10	2C	275	332	-.23	.18	.88	-1.2	1.03	.1	.52
L11	3A	280	332	-.39	.18	1.26	2.3	1.63	1.3	.33
L9	2C	286	332	-.60	.19	.98	-.2	1.06	.1	.46
C9	2B	288	332	-.67	.19	1.10	.8	.88	-.3	.40
C10	2A	296	332	-.99	.21	.99	-.1	.78	-.4	.42
L8	2B	298	332	-1.08	.21	1.04	.3	1.37	.6	.38
L7	2A	299	332	-1.12	.21	1.03	.2	1.52	.8	.37
L4	2A	303	332	-1.31	.22	.93	-.5	1.45	.6	.41
L6	2A	308	332	-1.58	.24	.76	-1.7	.78	-.3	.48
L3	1B	314	332	-1.96	.27	.97	-.2	9.90	4.3	.33
L2	1B	315	332	-2.04	.27	1.09	.5	4.08	1.9	.21
L5	1B	315	332	-2.04	.27	.97	-.2	2.36	1.1	.32
C8	1C	316	332	-2.11	.28	.87	-.7	.25	-1.1	.39
C5	1B	317	332	-2.19	.29	.96	-.2	3.69	1.6	.29
C6	1C	320	332	-2.47	.32	.97	-.1	.47	-.6	.30
C7	1B	320	332	-2.47	.32	.97	-.1	1.67	.5	.27
C4	1C	326	332	-3.27	.43	1.00	.0	3.52	.9	.15
L1	1A	329	332	-4.02	.59	1.12	.2	7.78	1.2	-.03
C2	1A	331	332	-5.16	1.01	1.02	.0	.25	-.2	.09
C3	1A	331	332	-5.16	1.01	.87	-.1	.03	-.4	.18
C1	0	332	332	-5.87	1.42	Mesure Minimale Estimée				
Moyenne		235.	332.	.00	.27	.98	-.2	1.74	.3	
E.T.		103.	0.	2.93	.21	.13	1.4	2.05	1.3	

332 sujets et 33 items analysés

* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

Figure 7. Analyse de Rasch de Concentrations et Coffrets: hiérarchie de difficulté des items



* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

Les résultats de l'analyse conjointe de *Concentrations* et *Vues Orthogonales Codées* sont présentés au tableau 15. Quatre items de *Vues Orthogonales Codées* V2 ($t=2.8$), V3 ($t=3.2$), V4 ($t=5.0$) et V5 ($t=4.7$) ne s'ajustent pas au modèle. La figure 8 montre la distribution des items.

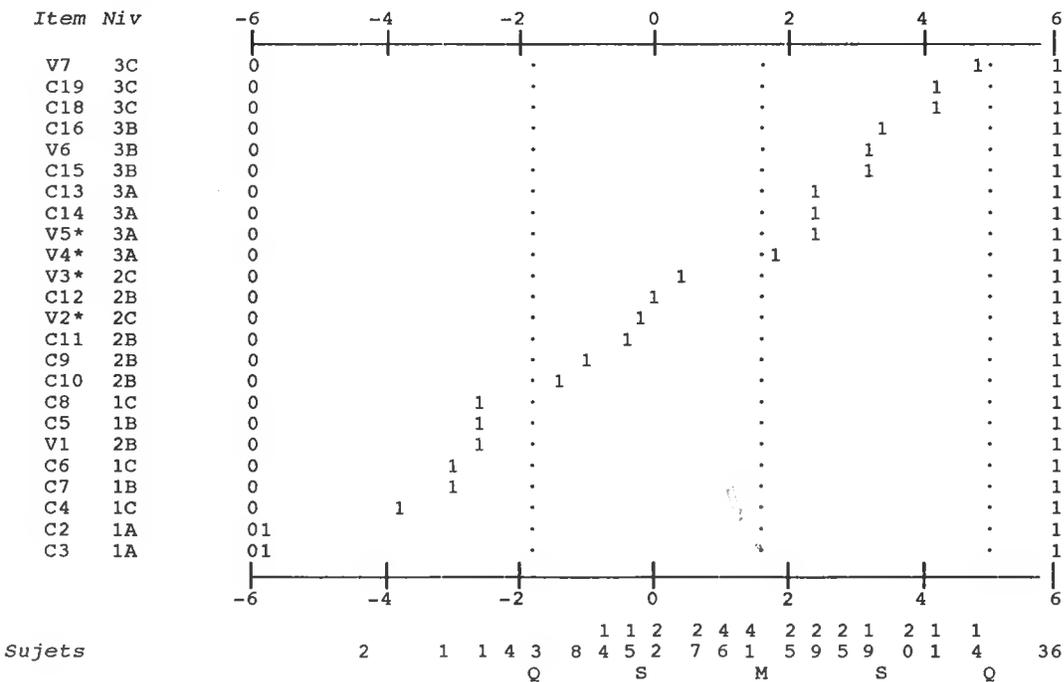
Tableau 15. Analyse de Rasch de Concentrations et Vues Orthogonales Codées statistiques d'items en ordre de mesure

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
V7	3C	32	330	4.79	.21	1.06	.4	1.34	.5	.26
C19	3C	46	330	4.25	.18	.91	-.9	.59	-1.0	.40
C18	3C	50	330	4.12	.18	.94	-.6	.62	-.9	.41
C16	3B	79	330	3.32	.15	.72	-3.7	.52	-1.9	.56
V6	3B	81	330	3.27	.15	1.03	.3	1.69	1.9	.38
C15	3B	86	330	3.16	.15	.72	-3.9	.49	-2.2	.58
C13	3A	122	330	2.41	.14	.87	-2.0	.82	-1.0	.52
C14	3A	122	330	2.41	.14	.91	-1.4	.86	-.7	.50
V5*	3A	126	330	2.33	.14	1.35	4.7	2.28	5.0	.23
V4*	3A	153	330	1.83	.14	1.34	5.0	2.14	5.4	.24
V3*	2C	233	330	.31	.15	1.25	3.2	1.31	1.4	.30
C12	2B	243	330	.10	.15	.76	-3.4	.58	-2.3	.55
V2*	2C	257	330	-.23	.16	1.26	2.8	2.02	3.1	.25
C11	2B	260	330	-.31	.16	.76	-2.9	.61	-1.7	.52
C10	2A	294	330	-1.40	.20	.84	-1.3	.50	-1.3	.44
C8	1C	314	330	-2.54	.29	.78	-1.1	.24	-1.4	.39
C5	1B	315	330	-2.63	.30	.85	-.7	9.90	4.9	.26
V1	2B	315	330	-2.63	.30	1.12	.5	1.68	.6	.24
C6	1C	318	330	-2.93	.33	.75	-1.0	.26	-1.1	.35
C7	1B	318	330	-2.93	.33	.80	-.8	4.16	1.8	.30
C4	1C	324	330	-3.81	.45	1.14	.4	2.11	.5	.14
C2	1A	329	330	-5.89	1.03	1.11	.1	.20	-.3	.09
C3	1A	329	330	-5.89	1.03	.77	-.3	.02	-.5	.17
C1	0	330	330	-6.62	1.44	Mesure Minimale		Estimée		
Moyenne		210.	330.	.00	.28	.96	-.3	1.49	.4	
E.T.		107.	0.	3.13	.24	.20	2.3	1.98	2.2	

330 sujets et 24 items analysés

* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

Figure 8. Analyse de Rasch de Concentrations et Vues Orthogonales Codées hiérarchie de difficulté des d'items



* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

En ce qui concerne l'analyse conjointe de *Coffrets* et *Vues Orthogonales Codées* (tableau 16 et figure 9), seulement deux items de *Vues Orthogonales Codées* affichent une valeur *infit* significative: V2 ($t=2.9$) et V3 ($t=2.4$).

Tableau 16. *Analyse de Rasch de Coffrets et Vues Orthogonales Codées: statistiques d'items par ordre de mesure*

Items	Niveau	Score		Mesure	Erreur	Infit		Outfit		Ptbis
		Brute	Compte			C.Moy	t	C.Moy	t	
V7	3C	32	330	4.54	.21	.98	-.1	.68	-.7	.26
L18	3B	68	330	3.42	.16	.88	-1.4	.91	-.3	.35
L16	3B	74	330	3.28	.15	1.11	1.3	1.07	.2	.26
V6	3B	81	330	3.12	.15	.89	-1.5	.75	-1.1	.38
L17	3B	88	330	2.97	.14	1.00	.0	.81	-.9	.34
L15	3B	89	330	2.95	.14	1.04	.5	.85	-.7	.33
V5	3A	126	330	2.26	.13	1.06	1.0	1.25	1.4	.33
V4	3A	153	330	1.79	.13	1.00	.0	1.08	.5	.39
V3*	2C	233	330	.32	.15	1.20	2.4	1.26	1.4	.34
L12	3A	247	330	.01	.15	.83	-2.1	.68	-1.9	.56
V2*	2C	257	330	-.24	.16	1.30	2.9	1.34	1.4	.29
L10	2C	273	330	-.69	.18	.69	-3.3	.63	-1.5	.62
L11	3A	278	330	-.85	.18	1.14	1.2	1.03	.1	.37
L9	2C	284	330	-1.05	.19	.96	-.3	.91	-.3	.46
L8	2B	296	330	-1.54	.21	.99	.0	.73	-.7	.42
L7	2A	297	330	-1.59	.22	.99	-.1	1.34	.7	.41
L4	2A	301	330	-1.78	.23	.88	-.8	.63	-.9	.48
L6	2A	306	330	-2.06	.24	.76	-1.6	.27	-1.9	.52
L3	1B	312	330	-2.46	.27	.99	.0	.86	-.2	.36
L2	1B	313	330	-2.54	.28	1.04	.2	1.62	.7	.30
L5	1B	313	330	-2.54	.28	.80	-1.1	.99	.0	.41
V1	2B	315	330	-2.71	.30	1.07	.3	1.17	.2	.29
L1	1A	327	330	-4.61	.60	1.15	.3	9.90	1.9	-.06
<i>Moyenne</i>		220.	330.	.00	.21	.99	-.1	1.34	-.1	
<i>E.T.</i>		100.	0.	2.48	.10	.14	1.4	1.85	1.0	

330 sujets et 23 items analysés

* Items qui ne s'ajustent pas au modèle unidimensionnel de Rasch

mathématique. L'ajustement adéquat des items V1, V6 et V7 s'explique par leurs niveaux de difficulté respectifs qui se situent aux extrémités de l'échelle de difficulté. Cette analyse révèle également une valeur significative de l'indice *infit* pour l'item L16, ce qui est inattendu.

L'analyse de Rasch effectuée sur *Concentrations* et *Coffrets* montre cependant que les items de *Coffrets* présentent des valeurs *infit* plus élevées que ceux de *Concentrations*. Dans le cas des items L16 et L17 de niveau 3B l'indice *infit* est significatif. Il est possible que les items de *Coffrets* soient plus sensibles à des facteurs non-structuraux tels les aspects figuratifs de la tâche qui, chez certains sujets, peuvent faire varier le niveau de difficulté. *Coffrets* peut également exiger d'avantage des habiletés langagières et de la capacité de la mémoire à court terme.

L'analyse de Rasch de *Coffrets* et de *VOC* fait ressortir le manque d'ajustement des items V2 et V3, alors que celle effectuée sur *Concentrations* et *VOC* met en évidence le manque d'ajustement des items V2, V3, V4 et V5. Ces résultats appuyent l'hypothèse des différences de traitement des contenus logico-mathématique et géométrique.

D'une manière globale, l'analyse de Rasch permet de vérifier la hiérarchie structurale des items ainsi que l'ajustement des items au trait latent. Nous avons donc pu, d'une part, confirmer la hiérarchie des items, telle que postulée par l'analyse de contenu. D'autre part, quatre des sept items de *Vues Orthogonales Codées* présentent un manque d'ajustement vis-à-vis l'ensemble des items, toutes épreuves confondues.

CHAPITRE VI

DISCUSSION

Rappelons les deux objectifs principaux de cette recherche: élaborer des critères de stades de développement indépendants des contenus, et comparer les performances de sujets à trois épreuves cognitives de type piagétien. Dans un premier temps, nous procédions à l'examen des caractéristiques d'items, c'est-à-dire les composantes en jeu dans chaque tâche et les relations qui s'établissent entre ces composantes. L'analyse structurale des items nous a permis de dégager deux paliers de développement de la pensée opératoire tels qu'ils se manifestent dans les épreuves: les stades opératoire concret et opératoire formel. Elle nous a de plus permis de déceler trois phases de coordination, correspondant à des paliers d'achèvement à l'intérieur de chaque stade. Dans un second temps, nous procédions à l'analyse quantitative des résultats obtenus aux trois épreuves, et comparions les trois épreuves entre elles.

6.1 Les critères de stades

L'analyse des épreuves décrites plus haut, ainsi que l'examen d'items de niveaux symbolique et intuitif (Noelting & Rousseau, 1993; Noelting, 1980) nous permet de décrire des niveaux de complexités similaires pour nos trois tâches: les niveaux intuitif, opératoire concret et opératoire formel. La description des stades, via les critères que nous avons défini, se situe à la suite des travaux de Piaget et Garcia (1971), où le rôle de l'objet dans la formation des opérations est investigué.

Les objets, en tant qu'éléments de l'interaction sujet-objet, sont impliqués dans l'élaboration des structures cognitives. L'analyse des relations entre objets et entre parties

d'objets, mise en oeuvre par Piaget et Garcia, fournit des moyens d'identifier la pensée caractéristique des stades intuitif, opératoire concret et opératoire formel.

Une analyse de tâche similaire effectuée sur *Concentrations*, *Coffrets* et *VOC*, nous conduit à définir les niveaux de développement à partir de l'identification des compositions d'éléments en jeu dans les items, et donc des opérations cognitives nécessaires à la réussite de ces items. Ces niveaux de développement caractérisent des degrés de complexité structurale de la tâche, qui correspondent aux opérations cognitives décrites par Piaget pour chaque stade.

6.1.1 Les niveaux de développement

Chaque niveau de développement se caractérise par des relations établies, soit entre parties d'un objet, soit entre objets, ou soit entre les objets et un système de référence (qui demande une systématisation des relations entre objets), et ce respectivement pour les niveaux intuitif, concret et formel. Le développement de la pensée intuitive vers la pensée opératoire concrète, puis formelle se présente ainsi comme le passage du traitement des éléments à celui des relations entre éléments, pour enfin aboutir à l'examen des relations entre relations.

Il s'agit de trois niveaux d'élaboration d'un schème cognitif nécessaire à la maîtrise d'un nouveau concept: les structures de la pensée intuitive, opératoire concrète et opératoire formelle sont considérées comme trois niveaux de structuration du schème. Le sujet y considère successivement les relations intra-objet, inter-objet et trans-objet, à l'aide d'invariants qui sont respectivement, élément, relation, et élément entre relations. Chaque niveau comporte trois phases de coordination, où le schème du sujet devient de plus en plus élaboré et de plus en plus apte à traiter des composantes inter-reliées.

La première étape correspond à la construction du schème intra-objet, où le sujet coordonne progressivement ses représentations à l'intérieur d'un objet, via l'analyse des éléments. La deuxième étape correspond à la construction du schème inter-objet, où la transformation des éléments et la coordination des relations entrent en jeu. Enfin, le sujet construit un schème de référence trans-objet, où un système englobe les transformations et lui permet de coordonner des relations entre relations, afin d'appréhender l'ensemble des caractéristiques d'un problème.

La découverte graduelle de certaines caractéristiques des objets, progresse selon deux manières. Il y a, d'une part, le changement de niveau de développement (ou de stades de développement) que Piaget appelait décalage vertical. Il est basé sur la réorganisation des schèmes cognitifs en fonction du type d'invariant conceptuel qui y est considéré¹³. D'autre part ces réorganisations du schème sont graduelles. On observe des degrés d'articulation des composantes du problème, qui déterminent le degré de maîtrise des relations entre composantes, à mesure que l'invariant structural devient stable et que le schème du sujet devient généralisé et adapté.

6.1.2 Les phases de coordination

Les stades de Piaget impliquent des périodes de préparation et d'achèvement. Les structures d'un stade n'émergent pas en bloc mais s'élaborent graduellement. Il est en conséquence possible que deux sujets de même stade, mais dont les schèmes se situent à des niveaux d'achèvement différents, puissent réaliser des performances bien différentes. Celui dont les structures sont les plus équilibrées pourra résoudre des problèmes qui échappent à celui dont les structures sont moins achevées. C'est pourquoi nous distinguons les niveaux de développement (ou stades) qui déterminent les niveaux de structuration, et les phases de coordination (ou d'équilibration chez Piaget) qui déterminent le degré de généralisation des niveaux de structuration.

Les niveaux de maîtrise du schème correspondent à des phases d'équilibration à travers lesquelles le schème se généralise et peut être appliqué de manière plus exhaustive. En ce qui concerne les trois épreuves de la présente recherche, les degrés de maîtrise du schème correspondent à la coordination de plus en plus complète de l'invariant avec les variations du problème. Les trois phases de composition sont de même type pour les trois niveaux de développement qui nous occupent soit, la pensée intuitive, la pensée opératoire concrète et la pensée opératoire formelle. La première phase de chaque niveau, la phase A, consiste en l'émergence de l'invariant, qui permet de traiter les nouvelles propriétés de la situation. Au stade intuitif, il s'agit d'un élément invariant. Au stade concret, c'est une relation invariante. Puis au stade formel, c'est une relation entre relations qui est conçue comme invariante. La seconde phase, la phase B, concerne la mise en relation de l'invariant avec des variations spécifiques à chaque contenu. D'une manière typique ces

¹³ Ce qui pousse précisément le sujet à considérer un élément plutôt qu'un autre, dans l'exercice qui conduit au changement de schème, reste difficile à définir dans une approche constructiviste, comme le note Lautrey, (1990). Ce dernier émet l'hypothèse que le sujet possède des heuristiques qui le guide vers les éléments pertinents à la situation.

variations correspondent à des variations quantitatives à *Concentrations*, à des transformations logiques en logique propositionnelle, à des nouvelles rangées de cubes dans *Vues Orthogonales Codées*. La troisième et dernière phase, la phase C, consiste en la coordination de l'invariant et des variations. Cette phase correspond à la maîtrise plus complète des propriétés de l'invariant. Ces trois phases s'apparentent aux phases d'équilibration décrites par Piaget et Garcia (1983).

Notons que le rejet de la nouveauté — ou rejet de la perturbation en termes piagétiens — se produit lorsqu'un nouvel invariant, qui servira de base pour de nouveaux schèmes, n'est pas constitué. Ceci se manifeste par l'utilisation d'un schème antérieur qui n'est pas adapté à la nouvelle situation. Le sujet échoue donc une tâche qui nécessite un nouveau schème pour être réussie.

Il faut de plus préciser les phases ne correspondent pas, à proprement parler, à des critères identifiables au-delà des contenus. Elles sont plutôt des degrés d'extension de l'invariant et prennent des formes différentes selon le problème en jeu.

6.1.3 Les niveaux de développement dans les trois épreuves

Nous définissons donc les périodes intuitive, opératoire concrète et opératoire formelle comme caractérisées par le type d'invariant structural qui y est manipulé. Dans nos trois épreuves, l'invariant est l'élément au niveau intuitif, il devient relation au niveau des opérations concrètes, puis cette relation, lorsque réfléchi à un second plan au niveau des opérations formelles, devient relation entre relations. Le type d'invariant est directement lié aux schèmes et aux opérations caractéristiques de chaque niveau de développement.

Pensée intuitive

La pensée intuitive est décrite comme une pensée où le sujet se centre successivement sur des états sans être capable de les relier entre eux. Cette période se caractérise par l'utilisation d'un élément comme invariant structural. L'utilisation de l'élément invariant ne permet pas le traitement d'un problème sur la base des relations entre composantes. Cette limite empêche le sujet de raisonner sur les liaisons entre états. Cette centration sur des états est une conséquence de l'utilisation, par le sujet, d'un élément comme invariant. L'exemple le plus probant est celui des enfants qui, à l'*Épreuve des Concentrations* basent leur raisonnement sur le nombre de verres de jus. Ils ne peuvent ainsi résoudre les

problèmes d'équivalence «1 pour 1 est équivalent à 2 pour 2», de niveau opératoire concret.

Nous notons dans nos items trois étapes de mise en relation de ces éléments. Pour l'épreuve des *Concentrations*, la période intuitive correspond à l'utilisation de l'invariant nombre de verres de jus ayant un effet direct sur la concentration en jus. Les effets du jus et de l'eau seront différenciés et maîtrisés graduellement en trois phases de coordination. À *Coffrets*, l'invariant structural est la disjonction exclusive, non comme connecteur logique, mais comme nécessité de retrouver le portrait à un seul endroit. À la fin de cette période, les items contenant une transformation sont réussis. Pour l'épreuve *Vues Orthogonales Codées*, l'invariant est chaque cube positionné sur un plan. À la fin de cette période le plan formant une couche bidimensionnelle verticale-horizontale est maîtrisé.

Une première mise en relation s'effectue au niveau intuitif, à partir des représentations construites au stade symbolique qui précède. Ces transformations ont lieu à l'intérieur de chaque rapport pour *Concentrations*, à l'intérieur de la proposition pour *Coffrets* et à l'intérieur du premier plan pour *Vues Orthogonales Codées*. On retrouve ainsi, à la période intuitive, la maîtrise des relations intra-objet telle que décrites par Piaget et Garcia, (1983).

Pensée opératoire concrète

Nos items de niveau opératoire concret se caractérisent par une relation invariante qui permet aux sujets de maîtriser des relations. Les divers états des objets peuvent être coordonnés, car le sujet ne centre plus son attention sur les éléments. La relation invariante, lorsque posée dans un problème, rend le sujet capable de structurer. La pensée est maintenant réversible. On note également trois phases dans la maîtrise des opérations de ce niveau où la relation invariante se coordonne graduellement avec les variations en jeu dans chaque contenu qui caractérise les schèmes opératoires concrets du sujet. Piaget et Garcia (1983), traitent les opérations de ce niveau comme relation inter-objet, c'est-à-dire que les compositions du niveau opératoire concret ont lieu entre les objets.

Pensée opératoire formelle

Les items de ce niveau se caractérisent par l'utilisation d'un invariant plus complexe qu'à la période précédente. La période opératoire concrète se caractérisait par une relation entre composantes et utilisée comme relation invariante. Avec la période opératoire formelle,

cette relation est réfléchi sur un second plan où apparaît la nécessité de concevoir invariante, la relation entre relations. L'établissement d'un invariant entre les relations correspond effectivement au «réfléchissement des opérations» décrits par Piaget (1967, 1977a & 1977b), où le sujet opère (raisonne de manière formelle) sur des opérations caractéristiques de la période concrète. La période opératoire formelle consiste en la maîtrise des relations, non plus entre composantes, mais entre les relations précédemment établies entre composantes. Ce nouvel invariant (la relation entre relations) permet de dépasser la représentation concrète de l'objet et de construire un système de référence abstrait et externe à l'objet, et permet d'appréhender le problème dans sa totalité. Chez Piaget et Garcia (1983), la période opératoire formelle fait apparaître la capacité d'effectuer des transformations trans-objet sur la base des caractéristiques des relations entre objets, soit à partir des transformations intra-objet construites à la période précédente: la période concrète.

6.3 La généralité des niveaux de développement

Le schème cognitif d'un sujet lui permet d'appréhender certaines caractéristiques de l'environnement. Le passage d'un stade à l'autre implique le traitement de plus en plus complet des propriétés des objets. Ce traitement n'est possible que parce qu'il existe un isomorphisme entre les propriétés des structures cognitives et les opérations qui peuvent être effectuées à partir de certaines caractéristiques des objets. En vertu de cet isomorphisme, qui s'établit à partir du jeu de l'accommodation et de l'assimilation, l'analyse de tâche correspond à l'analyse des schèmes cognitifs: la plus grande maîtrise d'un schème implique une meilleure manipulation des caractéristiques de l'environnement. Le développement des schèmes correspond à des niveaux d'appréhension du monde, où certaines caractéristiques des objets sont saisies, alors que d'autres sont ignorées.

Ce type d'isomorphisme est comparable à celui décrits par Stevens (1951) au sujet des échelles de mesure définies en physique. Stevens mentionne que c'est grâce à un isomorphisme entre les propriétés des séries numériques et les opérations empiriques que nous pouvons faire avec les aspects des objets, que les échelles de mesure existent. Cet isomorphisme n'est évidemment que partiel, car ce ne sont pas toutes les propriétés des objets de l'environnement qui trouvent leur pendant au sein des séries numériques. On ne s'étonnera pas que l'isomorphisme, que nous postulons entre les aspects des objets et les structures cognitives, est aussi partiel.

Les résultats de notre analyse structurale nous conduisent à poser l'hypothèse qu'il existe un parallèle structural important entre les échelles de mesure décrites par Stevens (1951) et les structures cognitives. Dans les deux cas, les niveaux supérieurs incluent les propriétés de ceux qui précèdent. Les structures cognitives avancées incluent celles qui précèdent et entraînent une saisie plus complète des propriétés des objets que les niveaux inférieurs. Un tel emboîtement existe également en ce qui concerne les échelles de mesure: «[...]the basic operations needed to create each type of scale is cumulative[...]» (Stevens, 1951, p. 23). Ainsi, les opérations typiques de l'échelle ordinale par exemple, sont incluses dans celles de l'échelle d'intervalles.

Le développement prend ainsi la forme d'une saisie de plus en plus exhaustive des caractéristiques des objets sur lesquelles le sujet peut opérer. Les qualités hiérarchiques des objets, sur lesquelles on peut opérer, sont responsables des échelles de mesure décrites en physique et des niveaux cognitifs décrits par Piaget. On peut raisonner à divers niveaux sur les caractéristiques des objets, de la même manière où on peut les mesurer à divers niveaux. Cette analogie séduisante reste à être étudiée, cependant elle s'est déjà révélée utile dans la description des niveaux structuraux des items.

6.4 Les relations entre les domaines logico-mathématique et infra-logique

Nos résultats ont révélé une certaine indépendance de l'épreuve *Vues Orthogonales Codées* à l'égard de la majorité des items de *Coffrets* et *Concentration* du domaine logico-arithmétique, *Concentrations* et *Coffrets*. Bien que seulement quatre des sept items de *Vues Orthogonales Codées* se révèlent sur un continuum d'habileté différent, ces résultats appuient l'hypothèse du traitement différent des items au contenu géométrique, traditionnellement reconnu comme appartenant au domaine infra-logique, vis-à-vis les items du domaine logico-mathématique (de Ribaupierre, Rieben & Lautrey, 1985).

Toutefois, la relative faiblesse des différences observées entre ces deux domaines pourrait être expliquée par la nature duale de la tâche à *Vues Orthogonales Codées*. Cette épreuve demande deux habiletés indépendantes l'une de l'autre, la représentation mentale de relations spatiales et le codage. La représentation mentale de relations spatiales appartient au domaine géométrique, tandis que le codage émane du domaine logico-arithmétique. Dans ce cas, il faut se demander laquelle de ces deux habiletés est prépondérante, voire même quelle habileté est plus sollicitée selon le niveau des items.

Les résultats obtenus, en ce qui concerne l'ajustement de *Vues Orthogonales Codées*, suggèrent que les domaines du raisonnement logico-mathématique et infra-logique jouent un rôle prépondérant dans la manifestation des habiletés cognitives. Ces résultats, à la lumière de l'analyse structurale, ne remettent pas en cause l'unidimensionnalité du développement, car la notion de *structure d'ensemble* qui y est dégagée ne se limite pas aux domaines impliqués. L'analyse structurale montre que les niveaux de développement entre domaines cognitifs distincts peuvent sous-tendre une organisation commune. Les différences observées entre items des domaines logico-mathématique et infra-logique seraient alors tributaires des types de traitement de l'information, soit symbolique et analogique, qui sont impliqués respectivement dans ces deux domaines, plutôt qu'à des structures cognitives distinctes.

CONCLUSIONS

Ce n'est qu'en reconnaissant à la théorie piagétienne toute sa valeur heuristique qu'il est possible de mettre en perspective les résultats de cette recherche. En s'appuyant sur les bases fertiles des travaux de Piaget et Garcia (1983), particulièrement ceux portant sur le rôle de l'objet dans l'élaboration des schèmes cognitifs, nous avons appliqué une démarche structurale avec comme objectif de décrire des critères de stades. Nous l'avons déjà mentionné, ces critères sont essentiels à l'analyse des parallèles entre épreuves. Nous avons pu montrer, à cet égard, qu'au delà des contenus des épreuves, des structures similaires sont rencontrées. La nature des opérations en jeu d'une tâche à l'autre varie mais l'invariant structural demeure l'élément pour la pensée intuitive, la relation pour la pensée concrète et la relation entre relations pour la pensée formelle. La généralité des mécanismes psychogénétiques impliqués dans les niveaux de complexité du raisonnement reste cependant à être examinée.

Des parallèles entre les stades des épreuves et les niveaux de difficulté ont pu être établis. L'analyse des épreuves à partir du modèle de Rasch a d'abord permis de confirmer la hiérarchie des items élaborés par les travaux de Noelling et ses collaborateurs. Elle a ensuite permis de vérifier la présence de décalages: la distinction des items du domaine géométrique de ceux du domaine logico-arithmétique est cependant moins importante qu'attendue. Ces résultats mitigés ne remettent pas en cause un modèle unidimensionnel de développement. Le rapport items du domaine géométrique/items du domaine logico-arithmétique est cependant faible et il serait souhaitable d'équilibrer le nombre d'items de chaque type dans une reprise éventuelle de ces travaux. Une telle recherche aurait, de même, avantage à porter sur plusieurs contenus, autant du domaine logico-arithmétique qu'infra-logique.

Les niveaux structuraux des items décrits nous amènent à postuler des étapes de développement chez le sujet. Ces niveaux correspondent à des habiletés hiérarchisées, et nécessaires à la réussite de ces items qui nous ont servis à les illustrer. Ainsi, les opérations caractéristiques du niveau 3A englobent celles qui caractérisaient le niveau 2C.

Bien que notre analyse ait porté sur les niveaux opératoire concret et opératoire formel, nous pouvons, sur la base des travaux effectués par Noelting et ses collaborateurs, faire ressortir quatre niveaux de développement, où le schème du sujet se développe. Le premier niveau correspond à la construction de la représentation, mais n'a pas été encore suffisamment étudié par nous. Le deuxième niveau correspond à la construction du schème intra-objet, où le sujet coordonne progressivement les relations prenant place à l'intérieur d'un objet. Le troisième niveau correspond à la construction du schème inter-objet où le sujet coordonne des relations entre objets de la connaissance. Enfin, le sujet construit un schème trans-objet, qui lui permet de coordonner les relations entre l'objet et un système.

L'aboutissement des stades de développement consiste donc en la systématisation au formel, de transformations maîtrisées au concret et portant sur des caractéristiques des objets élaborées à l'intuitif. Le développement cognitif dans cette optique consiste donc en la construction au formel d'un système de transformations des caractéristiques des objets.

Les parallèles qui existent entre les épreuves proviennent de mécanismes communs et non de contenus communs. Chercher à effectuer des correspondances de stades sur la structure du problème sans tenir compte des relations fondamentales qui existent entre les éléments du problème serait probablement faire fausse route. À cet égard il est possible que certains contenus se prêtent moins bien à l'analyse structurale.

Nos critères structuraux se veulent cependant généraux. Ils concernent les niveaux de composition contenus dans les objets. Ces niveaux de composition déterminent des niveaux de traitement des caractéristiques des objets qu'il est possible d'effectuer. Les stades de développement et les échelles de mesure seraient les manifestations de ces niveaux de composition. L'hypothèse lancée à cet égard est que ces niveaux de composition sont en nombre limité, et qu'ils déterminent, par le fait même, des niveaux de traitement discontinus et limités en nombre.

Les critères de niveaux que nous décrivons devraient être appliqués à des contenus différents car ils ne prendront leur véritable sens que s'ils sont généralisables et explicatifs au sens où Brainerd (1978) l'entend, c'est-à-dire, s'ils peuvent servir à prédire des stades de développement dans des contenus qui n'ont jamais été étudiés.

Les hypothèses avancées, et l'étendue de leur portée illustrent combien l'analyse structurale peut se révéler fertile. Cette recherche avait comme objectif implicite de contribuer à l'élaboration d'un cadre théorique pour l'analyse des différences entre épreuves, au sein d'une approche structurale du développement cognitif.

RÉFÉRENCES

- Andrich, D. (1988) *Rasch model for measurement*. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, series no. 07-068. Beverly Hills: Sage Publications.
- Baltes, P.B., Reese, H.W., & Lipsitt, L.P. (1980) Life-span developmental psychology. *Annual Review of Psychology*, 31, 65-110.
- Beilin, H. (1985) Current trends in cognitive development research: Towards a new synthesis. In B. Inhelder, D. de Caprona & A. Cornu-Wells (Eds.), *Piaget today*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Beilin, H. (1990). Piaget and Garcia's history of science. *Contemporary Psychology*, 35, 654-656.
- Beilin, H. (1992) Piaget's enduring contribution to developmental psychology, *Developmental Psychology*. 28, (2), 191-204.
- Bickhard, M.H. (1978) The nature of developmental stages. *Human Development*., 21, 217-233.
- Bond, T.G. (1992) *An empirical validation of Piaget's logico-mathematical model for formal operational thinking*. Symposium présenté au 22th Annual Symposium of the Jean Piaget Society, UQAM.
- Boudrault, J.-G., (1995) *Analyse des critères d'entrée comme facteurs de réussite en formation professionnelle versus l'utilisation d'indicateurs de développement conceptuel et d'aptitude spatiale*. Mémoire de maîtrise, UQAM.
- Boyle, D.G. (1976) *A Student's guide to Piaget*. Oxford: Pergamon Press.
- Brainerd, C.J. (1978) The stage question in cognitive-developmental theory. *The Behavioral and Brain Sciences*., 2, 173-213.
- Brink, N.E. (1972) Rasch's logistic model vs. the Guttman model, *Educational and Psychological Measurement*, 32, 921-927.
- Brown, G. & Desforges, C. (1977) Piagetian psychology and education: Time for revision. *British Journal of Educational Psychology*, 47, 7-17.
- Brunel, M-L., Chagnon, Y., Goyer, L., Simard, A. & Noelting, G. (1994) La pertinence de l'utilisation d'épreuves opératoires en formation professionnelles. In M. Huteau (éd.) *Les techniques psychologiques d'évaluation des personnes*. Issy les Moulineaux: EAP, 888-984.

- Brunel, M-L., Noelting, G., Chagnon, Y., Goyer, L., Simard, A., & St-Pierre, A. (1992) *The cognitive profile of students in vocational training at the secondary school level*. Symposium présenté au 22th Annual Symposium of the Jean Piaget Society, UQAM.
- Brunel, M-L., Noelting, G., Chagnon, Y., Goyer, L. & Simard, A. (1993) Le profil cognitif des élèves en formation professionnelle au secondaire. In P. Goguelin & M. Moulin (éd.) *La psychologie du travail à l'aube du XXIe siècle*. Issy les Moulineaux: EAP, 121-131.
- Brunel, M-L., Noelting, G., Chagnon, Y., Goyer, L., St-Pierre, A. & Chabot, N. (1991) Le rôle du testing cognitif en orientation auprès des élèves de la formation professionnelle. *Canadian Journal of Counseling/Revue Canadienne de Counseling*, 25 (2), 191-211.
- Cantin, J. (1992). *Catégories professionnelles d'emplois et fonctionnement opératoire*. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec.
- Case, R. (1987a) The structure and process of intellectual development, *International Journal of Psychology*, 22(5-6) 571-607.
- Case, R. (1987b) Neo-Piagetian theory: Retrospect and prospect. *International Journal of Psychology*, 22, 773-791.
- Case, R. (1988) Théorie et mesure du développement: une réévaluation des stades de développement ou le néo-structuralisme dans la théorie et la recherche sur le développement. *Archives de Psychologie*, 56, 259-264.
- Case, R. (1992) Neo-Piagetian theories of intellectual development. In H. Beilin, & P. Pufall (éd.). *Piaget's theory: Prospects and possibilities*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chagnon, Y, Brunel, M.-L., Simard, A. & Noelting, G. (1994) Comparaison des résultats obtenus en formation professionnelle versus en formation générale à des épreuves opératoires. in M. Huteau (éd.) *Les techniques psychologiques d'évaluation des personnes*. Issy les Moulineaux: EAP, 614-618.
- Chapman, M. (1992) Equilibration and the dialectics of organization. In H. Beilin, & P. Pufall (éd.). *Piaget's theory: Prospects and possibilities*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Common, M.L. Richard, F.A. & Armon, C. (1984) *Beyond formal operations: Late adolescent and adult cognitive development*, NY: Praeger.
- Dickes, P., Tournois, J., Flieller, A. & Kop, J.-L. (1994) *La psychométrie*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Dodwell, P.C. (1960) Children's understanding of number related concepts. *Canadian Journal of Psychology*, 14, 191-205.
- Elliott, C. (1982) The measurement characteristics of developmental tests. in S. Modgil & C. Modgil, (Eds.) *Jean Piaget: Consensus and controversy*. London: Holt, Rinehart & Winston.

- Ennis, R.H. (1976) An alternative to Piaget's conceptualization of logical competence, *Child Development*, 47(4) 903-919.
- Fischer, K.W. (1987) Generalizations about generalization: How a theory of skill development explains both generality and specificity, *International Journal of Psychology*, 22, 643-677.
- Fischer, K.W. & Rose, S.P. (1994) Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research. In G. Dawson & K.W. Fischer, (Eds.) *Human behavior and the developing brain*. New York: The Guilford Press.
- Flavell, J.H. (1963) *The developmental psychology of Jean Piaget*. Toronto: Van Nostrand Company.
- Flavell, J.H. (1971) Stage-related properties of cognitive development. *Cognitive Psychology*, 2, 421-453.
- Flavell, J.H. (1982) On cognitive development. *Child Development*, 53, 1-10.
- Gardner, H. (1981) *The quest for mind*. (2e éd.), Chicago: The University of Chicago Press.
- Goyer, L. (1991) *L'identification du profil cognitif d'élèves en enseignement professionnel au secondaire*. Mémoire de maîtrise, UQAM.
- Guttman, L. (1955) A generalized simplex for factor analysis and a faceted definition of intelligence. *Psychometrika*, 20, 173-192.
- Hautamäki, J. (1989) The application of a Rasch model on Piagetian measures of stages of thinking, in P. Adey, (Ed.) *Adolescent Development and School Science*, London: Falmer.
- Hambleton, R.K., & Swaminathan, H (1985) *Item response theory: Principles and applications*. Boston: Kluwer-Nijhoff.
- Hofmann, R.J. (1982) Potential sources of structural invalidity in Piagetian and neo-Piagetian assessment. in S. Modgil & C. Modgil, (Eds.) *Jean Piaget. Consensus and controversy*. London: Holt, Rinehart & Winston.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955) *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Inhelder, B., & Noëting, G. (1959). La passage d'un stade au suivant dans le développement des fonctions cognitives. *Acta Psychologica*, 15, 435-441.
- Inhelder, B., & de Caprona, D. (1985) Introduction. In B. Inhelder, D. de Caprona & A. Cornu-Wells (Eds.), *Piaget today*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jamison, W. (1977) Developmental inter-relation investigation among concrete operational tasks: An investigation of Piaget's stage concept. *Journal of Experimental Child Psychology*, 24, 235-253.

- Johnson-Laird, P.N. (1990). The development of reasoning ability. In G. Butterworth & P. Bryant (Eds.), *Causes of development: Interdisciplinary perspectives*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kuhn, D. (1984) Cognitive development. in M.H. Bornstein & M.E. Lamb, (Eds.) *Developmental psychology: An advanced textbook*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Laurendeau, M., & Pinard, A. (1968) *Les premières notions spatiales chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Lautrey, J. (1990) Des conceptions unitaires aux conceptions pluralistes du développement cognitif. *Archives de Psychologie*, 58, 185-196.
- Lautrey, J., de Ribeaupierre, A., & Rieben, L. (1986) Les différences individuelles dans la forme du développement cognitif évalué avec des épreuves piagétienne: une application de l'analyse des correspondances. *Cahiers de Psychologie Cognitives*, 6 (6), 575-613.
- Lawson (1985) A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7) 569-617.
- Lewis, M.D. (1994). Reconciling stage and specificity in neo-Piagetian theory: Self-organizing conceptual structures. *Human Development*, 37, 143-169.
- Linacre, J.M., & Wright, B.D. (1993) *A user's guide to Bigsteps*. Chicago: MESA Press.
- Lunzer, E. (1960) Some point of Piagetian theory in the light of experimental criticism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 1, 191-202.
- Montangro, J. (1985) *Genetic epistemology: Yesterday and today*, New York: The Graduate School and University Center, CUNY.
- Noelting, G. (1980) The development of proportional reasoning and ratio concept: Part I - Differentiation of stages. *Educational Studies in Mathematics*, 11, 217-253.
- Noelting, G. (1982). *Le développement cognitif et le mécanisme de l'équilibration*. Chicoutimi: Gaëtan Morin éditeur.
- Noelting, G. (1991) *L'Épreuves des Concentrations*. Québec: École de psychologie
- Noelting, G. (1992) *Le développement du connecteur de la disjonction exclusive*. Québec: École de Psychologie.
- Noelting, G., & Cloutier, R. (1970) *Le développement de la notion de proportion chez l'enfant et l'adolescent*. Québec: École de Psychologie.
- Noelting, G., & Cloutier, R. (1980) *Concentrations: échelle de développement cognitif portant sur la notion de rapport*. Québec: École de Psychologie.
- Noelting, G., Gaulin, C. & Puchalska, E. (1986). Structures and processes in the ability to communicate spatial information by means of Coded Orthogonal Views, in

- Proceedings of the Tenth International Conference for the Psychology of Maths Education*, London: University of London.
- Noelting, G., & Ouellet, H. (1973). *Stadex 4-9: série de 11 épreuves de développement cognitif*. Québec: Université Laval.
- Noelting, G., Coudé, G., & Rousseau, J.-P. (1995a) *Développement cognitif: combinaisons de liquides*. Cahier de Laboratoire, Québec: École de psychologie, Université Laval.
- Noelting, G., Coudé, G., & Rousseau, J.-P. (1995b) *Développement cognitif: l'épreuve Logique*. Cahier de Laboratoire, Québec: École de psychologie, Université Laval.
- Noelting, G., Coudé, G., & Rousseau, J.-P. (1995c) *Développement cognitif: Vues Orthogonales Codées*. Cahier de Laboratoire, Québec: École de psychologie, Université Laval.
- Noelting, G., Coudé, G., & Rousseau, J.-P. (1995d) Piaget and Garcia's model of development in psychogenesis and the History of sciences. Symposium invité présenté au *25th Annual Symposium of the Jean Piaget Society*. Berkeley.
- Noelting & Rousseau (1993) *L'épreuves des Concentrations 93*. Cahier de Laboratoire, Québec: École de psychologie, Université Laval.
- Phillips, D. (1982) Perspectives on Piaget as philosopher: The tough tender-minded syndrome. in S. Modgil & C. Modgil, (Eds.) *Jean Piaget. Consensus and controversy*. London: Holt, Rinehart & Winston.
- Piaget, J. (1949). *Traité de logique: Essai de logique opératoire*. Paris: Colin.
- Piaget, J. (1967) *La psychologie de l'intelligence*, Paris: Armand Colin.
- Piaget, J. (1975) *Le structuralisme*. coll. Que sais-je, Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1977a). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante. 1. L'abstraction des relations logico-arithmétiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1977b) *Recherches sur l'abstraction réfléchissante. 2. L'abstraction de l'ordre des relations spatiales*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1971) *Les explications causales*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1983) *Psychogenèse et histoire des science*, Paris: Flammarion.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1991) *Toward a logic of meanings*, (Trad. D. de Caprona & P.M. Davidson, ouvrage original publié en 1987). Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1941) *Le développement des quantités chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.

- Piaget, J. & Inhelder, B. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Coll. Que sais-je, Paris: Presses Universitaires de France.
- Rasch, G. (1960) *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*, Copenhagen: Danmarks Paedagogiske Institut (Chicago: University of Chicago Press, 1980).
- de Ribaupierre, A. (1993) Structural invariants and individual differences: On the difficulty of dissociating developmental and differential processes. in R. Case & W. Edelman (eds) *The new structuralism in cognitive development*. Contribution to Human Development. Basel: Karger, 23, 11-32.
- de Ribaupierre, A., Rieben, L. & Lautrey, J., (1985) Horizontal decalages and individual differences in the development of concrete operations, In V.L. Shulman, L.C.R. Restaino-Baumann & L. Butler (Eds.), *The future of Piagetian theory: The neo-Piagetians*. New York: Plenum Press.
- de Ribaupierre, A. & Rieben, L.,(1988) Amplitude et stabilité des différences individuelles dans le développement cognitif. *Archives de Psychologie*, 56, 301-304.
- Rousseau, J.P. (1994) *Parentés structurales et phases d'équilibrations dans le développement des fonctions cognitives*. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec.
- Shayer (1987) Neo-Piagetian theories and educational practice, *International Journal of Psychology*. 22(5-6) 751-772.
- Siegel, L.S., & Hodkin, B. (1982) The garden path to the understanding of cognitive development: Has Piaget led us into the poison ivy? in S. Modgil & C. Modgil, (Eds.) *Jean Piaget. Consensus and controversy*. London: Holt, Rinehart & Winston.
- Siegel, L.S. (1993) Amazing new discovery: Piaget was wrong! *Psychologie Canadienne*. 34 (3), 239-245.
- Simard, A (1993) *Fonctionnement cognitif d'élèves en formation professionnelle et en formation générale au niveau secondaire*. Mémoire de maîtrise, UQAM.
- Smullyan R. (1978) *What is the name of this book?* Engle wood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, inc.
- Spearritt D. (1982) *The improvement of measurement in education and psychology: contributions of latent traits theories*, Melbourne: Australian Council for Educational Research.
- Stevens, S.S. (1951) Mathematics, measurement and psychophysics. In S.S. Stevens (Ed.), *Handbook of experimental psychology*. (pp.1-49); New York: Wiley.
- Tomlinson-Keasey, C. (1982) Structures, functions and stages: A trio of unresolved issues in formal operations. in S. Modgil & C. Modgil, (Eds.) *Jean Piaget. Consensus and controversy*. London: Holt, Rinehart & Winston.

- Tuddenham, R.D. (1971) Theoretical regularities and individual idiosyncrasies. *Measurement and Piaget*. New York: McGraw-Hill.
- Vuyk, R. (1981) *Overview and critique of Piaget's genetic epistemology, 1965-1980*. Vol. I-II, London: Academic Press.
- Wason, P.C., & Johnson-Laird, P.N (1969) Proving a disjunctive rule., *Quarterly Journal of Experimental Psychology.*, 21, 14-20.
- Wright, B.D & Stone, M.H., (1979) *Best test design: Rasch measurement*. Chicago: MESA Press.
- Wright, B.D. & Masters, G.N., (1982) *Rating scale analysis*. Chicago: MESA Press.