



HAL
open science

Adaptation du modèle de la Construction-Intégration de Kintsch à la compréhension des énoncés et à la résolution des problèmes arithmétiques complexes

Olivier Lebreton

► To cite this version:

Olivier Lebreton. Adaptation du modèle de la Construction-Intégration de Kintsch à la compréhension des énoncés et à la résolution des problèmes arithmétiques complexes. Psychologie. Université de la Réunion, 2011. Français. NNT : 2011LARE0014 . tel-00716841

HAL Id: tel-00716841

<https://theses.hal.science/tel-00716841>

Submitted on 11 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de la Réunion
UFR Lettres et Sciences Humaines

Adaptation du modèle de la Construction-Intégration de Kintsch à la compréhension des énoncés et à la résolution des problèmes arithmétiques complexes

Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Psychologie Cognitive de
l'Université de la Réunion
Sous la direction de Monsieur Jean-François HAMON

Présentée et soutenue publiquement par
Olivier LEBRETON

Laboratoire : CIRCI

Le 21 janvier 2011

Jury

- Monsieur **Denis BROUILLET**, Professeur de Psychologie,
Université Paul Valéry, Montpellier III, Rapporteur.
- Monsieur **Jean-Michel VIVES**, Professeur de Psychologie,
Université Sophia Antipolis, Nice, Rapporteur.
- Monsieur **Thierry BISSON**, Maître de Conférences en Psychologie,
Université Sophia Antipolis, Nice.
- Monsieur **Michel LATCHOUMANIN**, Professeur de Sciences de
l'Éducation, Université de la Réunion.
- Monsieur **Jean-François HAMON**, Professeur de Psychologie,
Université de la Réunion.

Université de la Réunion
UFR Lettres et Sciences Humaines

**Adaptation du modèle de la Construction-Intégration de
Kintsch à la compréhension des énoncés et à la résolution
des problèmes arithmétiques complexes**

Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Psychologie Cognitive de
l'Université de la Réunion
Sous la direction de Monsieur Jean-François HAMON

Présentée et soutenue publiquement par
Olivier LEBRETON

Le 21 janvier 2011

Remerciements

Mes premiers remerciements sont adressés à Monsieur Jean-François Hamon, mon directeur de thèse. Ses compétences, son enthousiasme, sa patience, sa confiance, ses encouragements mais aussi ses nombreuses relectures m'ont permis de mener ce travail à son terme.

Je tiens à remercier les rapporteurs Messieurs Denis Brouillet et Jean-Michel Vives ainsi que les autres membres du jury : Messieurs Michel Latchoumanin et Thierry Bisson pour l'intérêt porté à cette étude et pour avoir répondu favorablement à mes sollicitations.

Un remerciement particulier à Monsieur Xavier de Viviès pour ses compétences également, en particulier dans le domaine des statistiques.

Une pensée particulière à Anne Macé, ma femme, pour sa patience et sa compréhension. Je souhaite la bienvenue à mon fils Emile.

Sommaire

.....	4
.....	6
.....	11
théorique de la recherche	15
1 : Éléments de psychologie cognitive	16
.1. Émergence d'une nouvelle perspective	17
.1.1. <i>Avancées conceptuelles et technologique</i>	17
.1.2 <i>Les postulats de la psychologie cognitive</i>	18
.1.3 <i>Nouvel élément méthodologique : les simulations informatiques</i>	19
.2. Processus et représentation : deux notion clés	21
.2.1 <i>Les processus cognitifs</i>	21
.2.1.1 Définition.....	21
.2.1.2 Deux distinctions classiques : automatique vs contrôlé et descendant vs ascendant	22
.2.2. <i>Les représentations</i>	24
.3. Organisation des connaissances en mémoire à long terme.....	26
.3.1. <i>Les différentes composantes de la mémoire à long terme</i>	26
.3.1.1. Mémoire épisodique et mémoire sémantique.....	26
.3.1.2. Mémoire déclarative et mémoire procédurale.....	27
.3.1.3. Mémoire implicite et mémoire explicite	28
.3.2. <i>Les connaissances en mémoire à long terme</i>	28
.3.2.1. Les réseaux sémantiques	28
.3.2.1.1. Le modèle de Collins et Quillian	28
.3.2.1.2. La conception prototypique de Rosch	31
.3.2.2. Les schémas.....	33
.3.2.2.1. Bartlett : initiateur de la théorie des schémas	33
.3.2.2.2. Les scripts de Schank et Abelson	34
.3.2.2.3. Les caractéristiques des schémas.....	37
.3.2.3. Liens génétiques entre les schémas et les réseaux sémantiques selon Nelson	39
.4. La mémoire de travail	42
.4.1. <i>Fonctions et capacités de la mémoire de travail</i>	42
.4.2. <i>Les deux conceptions de la mémoire de travail</i>	43

2 : Modèles généraux de la compréhension de textes de Kintsch	46
.1. 1978 : Les premiers éléments fondamentaux du modèle	48
.1.1. <i>La proposition comme unité de traitement</i>	49
.1.1.1. Réalité psychologique de la proposition	49
.1.1.2. Traduction et formalisation propositionnelle	52
.1.2. <i>Nature psychologique du produit final de l'activité de compréhension</i>	54
.1.3. <i>Un premier processus fondamental</i>	57
.1.3.1. Élaboration d'un réseau sémantique hiérarchisé	57
.1.3.2. Validité psychologique des macropropositions	60
.1.4. <i>Les cycles de traitement</i>	63
.1.4.1. Fonctionnement des cycles	63
.1.4.2. Fonctionnement des cycles : exemple	65
.1.5. <i>Les connaissances du lecteur</i>	69
.2. 1983 : Le modèle de situation au-delà de la base de texte	71
.2.1. <i>Le modèle de situation</i>	71
.2.1.1. Définition	71
.2.1.2. Validité psychologique du modèle de situation	72
.2.1.3. Les trois niveaux de la représentation	76
.2.2. <i>Vue d'ensemble du modèle</i>	78
.3. 1988 : Le modèle de Construction-Intégration	81
.3.1. <i>Nouvelle orientation théorique</i>	81
.3.2. <i>La phase de construction</i>	82
.3.3. <i>La phase d'intégration</i>	87
.4. L'intervention des connaissances du lecteur au cours du processus de compréhension de textes 90	
.4.1. <i>Rappel</i>	90
.4.2. <i>Importance des schémas de connaissances</i>	91
3 : La compréhension des énoncés arithmétiques simples	93
.1. Modèle de la résolution de problèmes arithmétiques proposé par Riley, Greeno et Heller	95
.1.1. <i>Les types de problèmes</i>	95
.1.1.1. Les problèmes de type Changement	98
.1.1.2. Les problèmes de type Combinaison	99
.1.1.3. Les problèmes de type Comparaison	99
.1.2. <i>Les trois ensembles de connaissances du modèle</i>	100
.1.2.1. Les schémas de problèmes	100
.1.2.2. Les schémas d'actions	104
.1.3. <i>Modèles de résolution et développement conceptuel</i>	107
.1.3.1. Niveau 1 du modèle	108
.1.3.2. Niveau 2 du modèle	109
.1.3.3. Niveau 3 du modèle	110
.2. Modèle de la compréhension des énoncés de problèmes proposé par Kintsch et Greeno	112
.2.1. <i>Spécificité de la représentation</i>	112
.2.2. <i>Connaissances de nature schématique</i>	114
.2.2.1. « Frames propositionnelles »	114
.2.2.2. Schéma d'ensemble	116
.2.2.3. Superstructures schématiques	118
.2.3. <i>Stratégies adaptées à l'utilisation des connaissances</i>	119
.2.3.1. Stratégie CREER-ENSEMBLE	120
.2.3.2. La stratégie ENSEMBLE-TRANSFERT	120
.2.3.3. Stratégie DIFFERENCE	121
.2.3.4. Stratégie SUPER-ENSEMBLE	121
.2.4. <i>Illustration du fonctionnement du modèle à partir d'un problème de type Combinaison</i>	122

.3. Modèle de Construction-Intégration appliqué aux énoncés de problèmes arithmétiques simples.....	126
.3.1. Limites du modèle précédent (1985)	126
.3.2. Phase de construction : Priorité aux traitements ascendants	127
.3.3. Phase d'Intégration : Stabilisation de la représentation.....	129
.3.4. Illustrations du fonctionnement du modèle de 1988.....	129
.3.4.1. Problème de type Combinaison	130
.3.4.2. Le problème de type Comparaison	132
4. Interprétations des difficultés des élèves à résoudre des problèmes arithmétiques.....	138
.4.1. Difficultés liées aux connaissances arithmétiques.....	138
.4.2. Difficultés liées aux connaissances linguistiques.....	139
.4.3. Difficultés liées aux contraintes du système mnésique.....	139
.....	140
.....	144
4 : Méthodologie de la recherche	145
.1. Participants.....	146
.2. Phase 1.....	148
.2.1. Matériel.....	148
.2.1.1. Le texte narratif.....	148
.2.1.2. Problèmes arithmétiques simples	153
.2.1.2.1. Problèmes de type Changement.....	153
.2.1.2.2. Problèmes de type Combinaison.....	155
.2.2. Codage des réponses.....	156
.2.3. Conditions de passation des épreuves de la phase 1.....	157
.3. Phase 2.....	159
.3.1. Élaboration des deux premiers problèmes complexes.....	159
.3.1.1. Premier problème : Les Arbres	159
.3.1.2. Deuxième problème : Gargantua	163
.3.1.3. Problèmes bruts et problèmes aidés	166
.3.2. Choix définitif des problèmes complexes.....	167
.3.2.1. Deux versions aidées du problème « Arbres »	167
.3.2.2. Problème « Arbres » et ses isomorphes	169
.3.2.3. Comparaison des trois énoncés bruts.....	171
.3.2.4. Traduction propositionnelle des trois énoncés bruts.....	173
.3.3. Problèmes arithmétiques complexes définitifs.....	178
.3.3.1. Problèmes « Arbres ».....	179
.3.3.2. Problèmes « Livres ».....	180
.3.3.3. Problèmes « Voitures »	181
.3.3.4. Traitement des données recueillies	182
.3.4. Problèmes distracteurs.....	185
.3.5. Constitution des groupes	186
.3.5.1. Importance de l'équivalence des groupes	186
.3.5.2. Équivalence des groupes et niveaux d'expertise en résolution de problèmes simples... 187	
.3.5.3. Équivalence des groupes et niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs.	191
.3.5.3.1. Équivalence groupe 1 et groupe 2	192
.3.5.3.2. Équivalence groupe 1 et groupe 3	193
.3.5.3.3. Équivalence groupe 2 et groupe 3	196
.3.6. Conditions de passation des épreuves de la deuxième phase.....	199
.....	202
5 : Compréhension de textes narratifs et résolution de problèmes arithmétiques complexes	204

.1. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance aux problèmes arithmétiques complexes bruts.	206
.1.1. Résultats globaux.....	207
.1.2. Ajustement des niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs.....	216
.2. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, la performance aux problèmes arithmétiques complexes et les habillages	222
.2.1. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres »	222
.2.2. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Livres »	229
.2.3. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance aux problèmes arithmétiques complexes sous l'habillage « Voitures ».....	234
.2.4. Récapitulatif des résultats obtenus.....	239
6 : Problèmes arithmétiques simples et problèmes arithmétiques complexes bruts.....	243
.1. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples et la performance aux problèmes arithmétiques complexes bruts.	245
.1.1. Résultats globaux.....	245
.1.2. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples, la performance aux problèmes complexes bruts et les habillages.....	253
.1.2.1. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres »	254
.1.2.2. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »	261
.1.2.3. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».....	268
7 : Procédures.....	278
.1. Choix de la procédure pour résoudre les problèmes arithmétiques complexes bruts.	279
.1.1. Choix de la procédure aux problèmes bruts et niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs	280
.1.2. Choix de la procédure au problème brut et niveau d'expertise en problèmes arithmétiques simples	283
.1.3. Choix de la procédure aux problèmes bruts et habillage sémantique.....	285
8 : Version brute et versions aidées	293
.1. Performances des élèves aux différentes versions des problèmes arithmétiques complexes.....	294
.1.1. Résultats globaux des sujets aux différentes versions des problèmes arithmétiques complexes	294
.1.2. Relation entre les performances aux trois versions	296
.1.3. Efficacité des versions	301
.1.3.1. Résultats discordants aux trois versions	301
.1.3.2. Étude de cas de certains élèves ayant des résultats discordants.....	307
.1.4. Impact des versions aidée1 et aidée2 : élèves experts / élèves non-experts aux problèmes complexes bruts.....	315
.1.4.1. Élèves experts	316
.1.4.2. Les élèves non-experts.....	321
9 : Discussion	325
.1. Rappel des hypothèses.....	326
.2. Rappel méthodologique.....	328
.3. Types de textes et processus de compréhension.....	329

.3.1.	<i>Élaboration d'un réseau sémantique propositionnel</i>	329
.3.2.	<i>Impact des habillages dans l'élaboration de la représentation</i>	332
.3.2.1.	« Arbres » et « Livres »	332
.3.2.2.	« Arbres » et « Voitures »	336
.3.2.3.	« Livres » et « Voitures ».....	338
.4.	Connaissances arithmétiques et processus de compréhension	343
.4.1.	<i>Rôle déterminant des connaissances arithmétiques</i>	343
.4.2.	<i>Habillage sémantique, connaissances arithmétiques et compréhension</i>	346
.5.	Catégorisation et processus de compréhension.....	351
.5.1.	<i>Importance du principe d'équivalence</i>	351
.5.2.	<i>Illustration du niveau sémantique de la représentation</i>	355
.5.2.1.	Niveau sémantique à la fin de la première phrase	355
.5.2.2.	Niveau sémantique à la fin de la deuxième phrase.....	357
.5.2.2.1.	Mode de catégorisation collective privilégié	357
.5.2.2.2.	Principe d'équivalence acquis et mode de catégorisation ensembliste privilégié.....	359
.5.2.3.	Niveau sémantique de la représentation lors de la lecture de la question	361
.6.	Aides à la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes.....	363
.6.1.	<i>Impact limité des versions aidées</i>	363
.6.2.	<i>Impact différent des versions aidées</i>	366
.6.2.1.	Importance du choix des questions posées	366
.6.2.2.	Impact globalement positif de la version aidée 2.....	366
	et perspectives	371
	378
	389

Introduction

Enseigner l'arithmétique à l'école élémentaire est un exercice difficile et les exigences officielles (Bulletin officiel, 2008) sont de ce point de vue ambitieuses puisque les élèves de CM2, lorsqu'ils quittent l'école primaire, doivent être capable de résoudre des problèmes nécessitant une démarche à plusieurs étapes.

Le professeur des écoles que je suis, depuis 10 ans, reste encore surpris par les réponses proposées par les élèves lorsqu'ils résolvent de tels problèmes. Cette surprise est parfois mêlée d'impuissance.

Mais au-delà de ces sentiments, c'est la détermination à mieux comprendre les élèves qui me fait prendre, à nouveau, le chemin de l'université quitté quelques mois auparavant après avoir obtenu la licence de Mathématiques et réussi le concours de professeur des écoles. C'est donc une préoccupation initialement pédagogique qui a motivé cette recherche. Et le travail proposé dans ce manuscrit retrace, pour une part seulement, le long voyage entrepris.

La résolution de problèmes est un objet de recherche qui n'est pas nouveau et il intéresse nombre de chercheurs dont les publications se situent aussi bien en Psychologie, en Intelligence Artificielle qu'en Didactiques des mathématiques. Ainsi, trouver son chemin n'a pas été chose aisée et l'envie de le rebrousser m'est souvent venu à l'esprit.

Le point de vue adopté n'est pas historique et pour s'en tenir brièvement aux courants récents de la psychologie, l'approche du traitement de l'information d'une part, et l'approche fonctionnelle de l'école genevoise d'autre part, sont les possibles points d'entrée à l'étude de la résolution de problèmes. Pourtant, ni les travaux de Newel et Simon (1972), pour qui la formalisation de l'activité de résolution de problèmes est conçue comme la mise en œuvre d'un processus exploratoire à l'intérieur d'un espace de recherche, ni les travaux de Inhelder et Piaget (1979), pour qui la découverte d'une procédure de résolution de problème nécessite l'activation et l'adaptation de schèmes n'ont servi de point de départ à notre travail. Toutefois, nous reconnaissons, à posteriori, des passerelles possibles voire évidentes entre ces différentes approches et celle que nous avons adoptée.

Ce sont les travaux de Kintsch qui ont été essentiels à l'avancée de notre recherche puisque c'est l'un des rares chercheurs à avoir étudié et formalisé la compréhension de textes d'une part, et la résolution de problèmes arithmétiques d'autre part. Le choix de nous appuyer sur les travaux de ce chercheur, qui a travaillé principalement au département de psychologie de l'université du Colorado, s'est imposé avec le temps. Cette évidence, une fois de plus à posteriori, n'est apparue que progressivement lorsque, au fur et à mesure des lectures, ses travaux étaient régulièrement cités comme fondamentaux aussi bien dans la littérature anglo-saxonne que francophone.

Les obstacles n'ont pas tous été contournés pour autant puisqu'il a été difficile de comprendre de façon précise les travaux de Kintsch. Difficultés liées d'une part, à la nouveauté des modèles proposés et d'autre part, aux postulats généraux adoptés implicitement par cet auteur.

Le premier chapitre retrace donc brièvement et partiellement l'histoire de la psychologie cognitive et précise également les notions clés facilitant la compréhension des travaux de Kintsch. Il sera question en particulier des

notions de représentation, de processus ou encore d'organisation des connaissances en mémoire sous la forme de réseaux sémantiques ou de schémas.

Le travail proposé ici se situe donc en psychologie cognitive et nous adoptons plus précisément les postulats du paradigme du traitement de l'information. Les chercheurs se positionnant dans ce paradigme considèrent le système cognitif humain comme étant un système de traitement de l'information. Cette information est de nature représentationnelle, et grâce à l'application de processus cognitifs, évolue jusqu'à permettre aux sujets de proposer des réponses adaptées à l'environnement dans lequel ils se situent. Cette façon de concevoir la psychologie est en rupture avec les courants précédents en particulier avec le béhaviorisme. D'ailleurs, cette rupture a pu être possible, entre autres, grâce à la révolution informatique.

Les publications proposées par Kintsch sont extrêmement nombreuses et affirmer que l'ensemble de ses travaux ont été passé en revue serait inexact. L'objectif principal de ce chercheur a été de proposer un modèle de la compréhension du discours. Sa théorie est fondamentale, nous le disions. Pour notre part, nous avons tenté de retracer l'évolution de sa théorie en nous appuyant sur quelques dates clés : 1978, 1983, 1988 et 1993. À la lecture du deuxième chapitre, le lecteur se rendra compte des liens forts qui existent entre ces différents modèles. Il est permis de dire finalement que la version proposée en 1988, plus connue sous le nom du modèle de Construction-Intégration, trouve ses racines dans le modèle de 1978. La version initiale a été proposée à la fin des années soixante-dix. Cette première version évolue et aboutit à une seconde version en 1983. Et finalement, la version la plus aboutie du modèle est proposée en 1988.

La formalisation proposée par Kintsch s'appuie sur la notion essentielle de proposition au sens logique du terme c'est-à-dire, constituée d'un prédicat et de ses arguments. Sa théorie est donc propositionnelle.

Kintsch est l'un des rares à avoir combiné la compréhension de textes et la résolution de problèmes en s'associant avec Greeno (1985). La compréhension de textes exige l'activation des connaissances. Cela reste vrai dans le domaine des mathématiques. Il s'agit précisément des connaissances arithmétiques plus connues sous le terme de schémas de problèmes. L'application du modèle de Kintsch à la compréhension des énoncés de problèmes simples est l'objet du chapitre 3.

Notre travail se situe clairement dans le courant initié par Kintsch. Cependant, notre regard est davantage tourné vers la compréhension et la résolution de problèmes complexes. Cet objet d'étude a très peu été pris en compte. Le cadre théorique de notre recherche débouche sur une hypothèse générale qui s'articule autour des notions essentielles proposées par Kintsch et s'appuie en particulier sur son modèle de Construction-Intégration.

Le chapitre 4 est essentiellement méthodologique où une large place est consacrée d'une part, à la construction des neuf énoncés de problèmes arithmétiques complexes et d'autre part, à la constitution de trois groupes expérimentaux puisque 239 élèves ont pris part à notre travail. Dans les quatre chapitres suivants ont été regroupés les résultats. Le chapitre 9, quant à lui, nous a permis de discuter les résultats obtenus. Nous espérons, à travers cette recherche, apporter une contribution, à la connaissance scientifique

Cadre théorique de la recherche

Chapitre 1 :

Éléments de psychologie cognitive

1.1. Émergence d'une nouvelle perspective

1.1.1. Avancées conceptuelles et technologique

Notre ambition n'est pas tant de retracer de façon précise l'histoire de notre discipline que de proposer un éclairage particulier sur certains événements qui ont contribué à sa naissance dans les années cinquante et à son développement jusqu'à aujourd'hui.

La première moitié de XXe siècle est dominée par la perspective béhavioriste qui refuse de prendre en considération les processus mentaux. Cette domination est particulièrement perceptible en Amérique du Nord (Westen, 2000). La psychologie comportementaliste, autre manière de parler de la perspective béhavioriste, a l'ambition de donner à la psychologie le statut de discipline scientifique au même titre que les sciences naturelles ou la physique par exemples. D'un point de vue méthodologique, elle refuse l'introspection du courant précédent et s'appuie exclusivement sur des observations objectives que sont les stimuli proposés aux sujets et les réponses de ces derniers. Selon les chercheurs de ce courant dont Watson et Skinner ensuite en sont les chefs de file, le comportement des humains peut être compris sans faire référence aux états internes des sujets. Ainsi, ces derniers sont réduits à l'état de boîte noire.

Plusieurs avancées conceptuelles vont favoriser l'émergence d'une nouvelle perspective psychologique. Les travaux de Piaget en psychologie génétique et ceux de Chomsky en linguistique sont les plus souvent cités (Nicolas, 2006 ; Launay, 2004 ; Watlin, 2001 ; Johnson-Laird, 1994 ; Reed, 1999 ; Richard, 1993).

Piaget s'est intéressé, entre autres, au développement cognitif et pour cet épistémologue et psychologue suisse, le développement intellectuel est vu comme la mise en œuvre d'opérations mentales qui s'appuie sur des structures logico-mathématiques. Ces opérations mentales évoluent et permettent de définir différents stades de développement.

Chomsky, lui aussi, trouve les limites de la psychologie comportementaliste. En effet, ce linguiste propose une approche de la grammaire fondée sur les transformations des structures linguistiques par l'application de règles (la grammaire générative transformationnelle). Pour cet auteur, l'acquisition d'une langue ne peut se faire uniquement par la mise en oeuvre de mécanismes associatifs défendus par les behavioristes tant il existe de combinaisons possibles de mots pour en faire des phrases (Reed, 1999). Elle nécessite l'acquisition de règles qui ne s'explique pas non plus par ces mêmes mécanismes associatifs (Richard, 1993).

Une autre avancée, cette fois-ci, technologique va modifier le point de vue des psychologues. Il s'agit de l'invention de l'ordinateur possédant son propre programme. Elle traite de l'information. Cela signifie que les opérations mises en oeuvre par cette machine consistent à transformer des symboles en d'autres symboles. Avec cette machine, les psychologues disposent d'un modèle physique qui est capable de rendre opérationnels les concepts dont ils parlent. Les psychologues cognitivistes vont donc s'emparer de cette avancée technologique et proposer une nouvelle approche basée sur la théorie de l'information. Deux idées vont émerger et séduire un grand nombre de psychologues. La première d'entre elles consiste à appréhender les processus cognitifs en le comparant aux opérations d'un ordinateur. La seconde idée consiste à interpréter les processus cognitifs comme la progression d'informations à l'intérieur d'un système sous la forme d'étapes.

1.1.2 Les postulats de la psychologie cognitive

Il existe un certain nombre de postulats sur lesquels les psychologues cognitivistes s'accordent.

Le système cognitif est un système actif de traitement de l'information. Cela signifie qu'il n'enregistre pas de façon passive les informations. Il

manipule, il transforme ces informations qui entrent dans le système en représentations. C'est en ce sens qu'il est qualifié de système symbolique actif.

L'information est traitée par une suite de processus cognitifs comme par exemples les processus d'encodage, de stockage et de récupération. Ces processus fonctionnent de façon séquentielle ou de façon parallèle.

Chaque processus cognitif prend du temps pour traiter l'information. L'analyse de ce temps renseigne les psychologues sur l'existence et les caractéristiques de ces processus.

L'objectif de la psychologie cognitive est de spécifier les représentations et les processus opérant sur ces derniers pour accomplir les tâches cognitives.

Le système cognitif constitue une architecture cognitive dans laquelle il existe plusieurs composants généraux de la cognition humaine. Chacun de ces composants met en œuvre des processus cognitifs spécifiques.

1.1.3 Nouvel élément méthodologique : les simulations informatiques

La psychologie cognitive a pour objectifs principaux la description du fonctionnement cognitif humain ainsi que l'explication de ce fonctionnement. Elle propose donc des interprétations qui s'appuient sur des observations en utilisant les méthodes statistiques de la psychologie expérimentale. Elle utilise aussi, des méthodes de simulation et en particulier la simulation informatique.

Cette simulation consiste à exprimer une théorie du fonctionnement cognitif pour une tâche donnée dans le langage informatique afin de la faire effectuer à une machine. L'objectif de cette simulation réside dans la comparaison des patrons de performance des sujets humains et l'ordinateur. Cette comparaison va permettre de décider si le modèle formulé est une bonne approximation de la manière dont un sujet accomplit une tâche. Autrement dit, elle va permettre de décider si le mécanisme implanté dans la machine est un modèle satisfaisant des activités mentales.

Une condition qui favorise l'élaboration de ces modélisations cognitives (Richard, 2004) ou encore ces modèles computationnels (Reed, 1999) réside dans une description très précise des processus cognitifs mis en jeu. La simulation informatique peut donc pousser les chercheurs à décrire les processus cognitifs de façon précise. Ces modélisations cognitives sont précédées de modèles non-computationnels qui consistent à proposer une description verbale de la manière d'accomplir une tâche. Certains auteurs comme Lemaire (1999) expliquent qu'à chaque fois que cela est possible, il est préférable de proposer une explication avec un modèle computationnel car il favorise la précision et les détails.

Kintsch (1978, 1983, 1993), un des auteurs sur lequel nous allons beaucoup nous appuyer dans les chapitres 2 et 3, a élaboré des modèles non-computationnels mais aussi computationnels dans les domaines de la compréhension de textes (chapitre 2) et dans le domaine de la résolution de problèmes arithmétiques simples (chapitre 3).

1.2. Processus et représentation : deux notions clés

1.2.1 Les processus cognitifs

1.2.1.1 Définition

La perspective cognitive se fixe comme objectifs la description du système cognitif humain, l'explication des phénomènes observés ainsi que l'élaboration de modèles généraux ou spécifiques en s'appuyant le plus souvent sur la théorie du traitement de l'information. La lecture des ouvrages généraux et spécialisés ainsi que les différents articles laisse apparaître un usage fréquent du terme processus. De plus, les postulats de la psychologie proposés dans la section précédente témoignent également de l'importance accordée à cette notion. Il est question précisément de processus cognitifs par opposition aux processus physiques ou chimiques par exemples. Pourtant, rares sont les ouvrages qui traitent précisément de cette notion et elle reste finalement mal définie (Richard, 1998). Cette notion semble se rapprocher d'autres notions comme opération mentale ou encore mécanisme psychologique.

Notre objectif n'est pas de se risquer à proposer une définition pointue de cette notion. Nous allons tenter d'en proposer les contours et nous appuyer, dans un premier temps, sur une définition générale formulée par Le Ny (1999). Il précise qu'il s'agit d'unités du fonctionnement mental. Les processus de construction d'une représentation, d'encodage, de récupération, d'activation diffusante ou encore d'inhibition en sont des exemples.

Une façon ensuite d'appréhender cette notion centrale consiste à l'associer au concept de représentation. Ces deux notions sont liées car les processus cognitifs s'appliquent à ces entités cognitives. Dans la perspective cognitive basée sur la théorie de l'information, les représentations sont manipulées, transformées par l'application de processus. Leur rôle est donc central puisqu'ils traitent les entités cognitives (Johnson-Laird, 1994).

Les processus cognitifs ou encore les opérations mentales ont la caractéristique de pouvoir se composer avec d'autres processus cognitifs pour former une unité d'ordre plus élevé (Le Ny, 1999).

Le fait de placer les processus cognitifs au cœur de la recherche cognitive permet de préciser le niveau d'analyse des psychologues. Le cerveau est un système naturel de traitement de l'information par rapport aux systèmes artificiels tels que les ordinateurs. Pour autant, la psychologie cognitive ne situe pas ses analyses, ses descriptions au niveau des neurones. La psychologie cognitive a opté pour un niveau d'analyse plus abstrait.

1.2.1.2 Deux distinctions classiques : automatique vs contrôlé et descendant vs ascendant

La section précédente avait pour ambition de proposer une première approximation de la notion de processus qui se définit donc comme une unité de fonctionnement du système. Pour permettre de l'appréhender de façon un peu plus précise, il semble judicieux de proposer certaines distinctions classiques de la psychologie cognitive. Il sera question tout d'abord de l'opposition processus automatique et processus contrôlé et ensuite de l'opposition processus ascendant et processus descendant.

La distinction entre les processus automatiques et les processus contrôlés ont été mis en évidence par les chercheurs s'intéressant aux processus attentionnels. Les travaux de Schneider et Shiffrin (1977) sont fondamentaux de ce point de vue et sont donc les plus souvent cités (Weil-Barais, 1993 ; Lemaire, 1999 ; Camus et Auclair, 2006 ; Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007).

Ces deux processus n'ont pas les mêmes caractéristiques. Les processus automatiques se déroulent rapidement, fonctionnent en parallèle, ne consomment pas beaucoup de ressources cognitives ou attentionnelles, sont difficiles à interrompre, et autorisent la mise en œuvre simultanée d'un

processus contrôlé. Les processus contrôlés, en revanche, se déroulent lentement, fonctionnent de façon sérielle, consomment beaucoup de ressources attentionnelles, sont faciles à interrompre, n'autorisent pas la mise en œuvre simultanée d'un autre processus contrôlé.

Les processus de récupérations des informations en Mémoire à Long Terme sont souvent automatiques (Chanquoy, Tricot, Sweller, 2007). Certains processus d'inférence sont, eux aussi, automatiques. Nous les préciserons dans le chapitre 2.

Un élément important qui concerne ces deux processus réside dans le fait que des processus contrôlés puissent devenir automatiques sous l'effet de la pratique ou de l'apprentissage (Schneider et Shiffrin, 1977). Une fois automatisé, le fait d'essayer d'y exercer à nouveau un contrôle peut entraîner des troubles cognitifs (Well-Barais, 1993).

Cette distinction automatique versus contrôlé s'applique aux processus mais aussi aux traitements (Chanquoy et al. 2007), aux tâches, aux activités (Weil-Barais, 1993).

Comme cela a été précisé précédemment, une autre distinction classique est proposée par la psychologie. Elle oppose les processus ascendants aux processus descendants. Pour les chercheurs cognitivistes qui se basent sur la théorie de l'information, le système cognitif humain traite de l'information. L'information qui entre dans le système va être manipulée, transformée pour aboutir à une réponse de l'individu. La distinction entre processus ascendant et processus descendant est associée aux sens de circulation de l'information dans le système de traitement.

Les processus cognitifs ascendants partent des stimuli pour aboutir à l'élaboration d'une représentation mentale. Ce cheminement dans le système ne tient pas compte des croyances ou des attentes des sujets. Ces processus sont aussi appelés processus dirigés par données (data-driven ou bottom-up). Par opposition à ces processus cognitifs ascendants, les processus descendants

traitent l'information dans le système à la lumière des croyances et des attentes des sujets. Ces processus sont aussi appelés processus dirigés par concepts (concept-driven ou top-down).

Il est question donc en psychologie cognitive de processus ascendants et descendants, mais ces deux termes s'appliquent également aux traitements. Il est question en psychologie de traitements ascendants et de traitements descendants.

1.2.2. Les représentations

Cette notion est, elle aussi, centrale en psychologie cognitive (Richard, 2004). Elle est au cœur des préoccupations des psychologues cognitivistes. En effet, les chercheurs s'intéressent aux processus cognitifs mais aussi aux entités cognitives auxquelles elles s'appliquent, en particulier aux différentes formes sous lesquelles elles sont inscrites dans le système cognitif humain (Denis, 1989). Il est donc essentiel de proposer une définition de cette notion. Pour se faire, nous allons nous appuyer sur l'illustration proposée par Denis (1989).

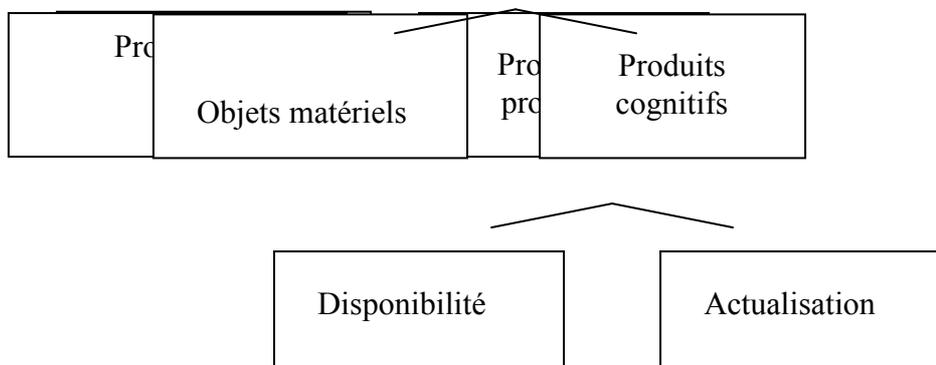


Figure 1.1 : Illustration partielle des acceptions du terme « représentation » (Denis, 1989).

Une première distinction doit être faite entre le processus de représentation et le résultat auquel aboutit le processus. Le processus de représentation est une activité humaine dont la finalité est de produire des objets. Il peut être observable directement ou bien il doit être inféré lorsqu'il s'agit de processus cognitif.

Intéressons-nous maintenant aux objets produits par le processus de représentation. Selon Denis (1989), une nouvelle distinction doit être formulée. Elle concerne la nature de ces objets. Pour certains d'entre eux, comme les dessins ou les maquettes ou encore les textes, appartiennent à l'environnement physique des individus et possèdent une certaine matérialité. Dans d'autres cas, ces objets sont considérés comme des événements psychologiques. Ils n'appartiennent pas au monde physique et ne sont pas directement observables. Cependant, comme cela a été précisé, la psychologie cognitive s'accorde sur le postulat de l'existence de tels objets. Il s'agit d'objets cognitifs.

Si nous nous tenons à ces objets de nature cognitive, une distinction partagée par les chercheurs (Richard, 2004) concerne leur état. Pour certains de ces produits cognitifs, ils se trouvent à l'état de disponibilité et pour d'autres à l'état d'actualisation. La distinction qui vient d'être proposée est associée à la distinction mémoire de travail (MDT) et la mémoire à long terme (MLT). Les événements psychologiques qui se trouvent à l'état de disponibilité appartiennent à la mémoire à long terme et peuvent passer à l'état d'actualisation par la mise en œuvre d'un processus d'activation ou d'un processus de récupération. Ces événements psychologiques transitoires appartiennent à la mémoire de travail. Ils sont remplacés par d'autres produits cognitifs lorsque la tâche proposée au sujet change et nécessite l'actualisation d'autres événements psychologiques permanents. Cette distinction entre les événements psychologiques transitoires et les événements psychologiques à l'état de disponibilité renvoie à la distinction connaissance et représentation.

1.3. Organisation des connaissances en mémoire à long terme

1.3.1. Les différentes composantes de la mémoire à long terme

Les psychologues cognitives ont entre autres ambitions la description du système cognitif humain. Si aujourd'hui la distinction entre mémoire de travail (MDT) et mémoire à long terme (MLT) semble recevoir l'accord des psychologues, les distinctions au sein même de la mémoire à long terme et l'hypothèse plus générale selon laquelle il existe différentes mémoires à long terme font encore débat (Lemaire, 1999). Notre objectif n'est pas de prendre position dans de tels débats mais d'explicitier les différentes orientations théoriques. Il s'agira pour nous de distinguer la mémoire épisodique de la mémoire sémantique, la mémoire déclarative de la mémoire procédurale et enfin la mémoire implicite de la mémoire explicite. La première distinction citée nous concerne particulièrement car le modèle de la compréhension de Kintsch et Van Dijk (1983) fait appel à la mémoire épisodique et à la mémoire sémantique (chapitre 2).

1.3.1.1. Mémoire épisodique et mémoire sémantique

Dans la littérature (Reed, 1999 ; Lemaire, 1999 ; Blanc et Brouillet, 2003 ; Weil-Barais, 2005 ; Rossi, 2005 ; Chanquoy et al. 2007), la distinction entre la mémoire épisodique et la mémoire sémantique est associée à Tulving (1972). Il s'agit de caractériser la mémoire à long terme comme incluant deux systèmes mnésiques fonctionnant en parallèle. L'indépendance de ces deux systèmes est relative car il est possible pour certaines informations de passer de la mémoire épisodique à la mémoire sémantique.

La distinction proposée par ce chercheur provient d'études dont les sujets étaient des personnes amnésiques. Tulving a remarqué qu'ils étaient incapables de retenir de nouvelles informations alors même que leur mémoire sémantique était préservée (Blanc et Brouillet, 2003).

Les informations contenues dans la mémoire épisodique concernent les épisodes de vie spécifiques à un individu. Ces épisodes de vie sont fortement associés à des repères spatiaux et temporels. Les individus sont capables lors de tâches de rappel de situer l'acte de mémoire dans le temps et dans l'espace. Par opposition à ce premier système, la mémoire sémantique contient des informations totalement détachées de repères spatiaux et temporels. Ce système serait fortement organisé et contiendrait des informations beaucoup plus abstraites comme les connaissances relatives au fonctionnement de la langue, les règles mathématiques, les concepts et les relations entre ces concepts...

1.3.1.2. Mémoire déclarative et mémoire procédurale

Cette distinction est proposée initialement par Anderson (1976) et Cohen et Squire (1980). Anderson a proposé une théorie connue sous le nom d'ACT (Adaptive Control of Thought) qui décrit le fonctionnement cognitif en s'appuyant sur deux registres différents de la mémoire à long terme à savoir, la mémoire à long terme déclarative et la mémoire à long terme procédurale. Cette distinction est adoptée par Cohen et Squire (1970) et Squire (1987). Ces derniers auteurs cités ont travaillé en particulier avec des patients amnésiques.

La mémoire déclarative contient des connaissances en général sur le monde. Elle regroupe les connaissances générales encyclopédiques et les souvenirs personnels. Ces connaissances peuvent faire l'objet d'une description verbale.

La mémoire procédurale contient des connaissances sur comment faire des choses dans le monde. Autrement dit, ces connaissances sont relatives à la manière de faire quelque chose. Ces connaissances peuvent difficilement faire l'objet d'une description verbale.

Les connaissances associées à la mémoire déclaratives s'appellent les connaissances déclaratives et celles associées à la mémoire procédurale s'appellent les connaissances procédurales.

Les dates de certains faits historiques ou d'anniversaires ou encore les théorèmes en mathématiques sont des exemples de connaissances déclaratives tandis que taper sur un clavier d'ordinateur, faire du vélo, conduire une voiture ou encore appliquer des règles grammaticales sont des exemples de connaissances procédurales.

Les chercheurs s'accordent sur l'idée que les connaissances déclaratives englobent les connaissances épisodiques et les connaissances sémantiques (Lemaire, 1999 ; Godefroid, 2001 ; Chanquoy et al. 2007).

1.3.1.3. Mémoire implicite et mémoire explicite

La distinction entre mémoire implicite et mémoire explicite est associée dans le littérature (Lemaire, 1999 ; Godefroid, 2001 ; Chanquoy et al. 2007) aux travaux de Schacter (1987). Cette distinction découle d'observations cliniques recueillies par ce chercheur et ses collaborateurs de sujets amnésiques. Ces patients étaient incapables d'apprendre une liste de quatre mots car échouent aux tâches de rappel mais arrivent à compléter ces mêmes mots lorsque les deux premières lettres leur sont proposées.

La mémoire explicite renvoie aux processus de récupération mis en œuvre de façon consciente et intentionnelle. La mémoire implicite est sollicitée lorsque des informations stockées sont récupérées sans s'en rendre compte, sans effort.

Chanquoy et al. (2007) rappellent que les connaissances acquises de façon formelle à l'école ou dans le monde professionnel renvoient à la mémoire explicite.

1.3.2. Les connaissances en mémoire à long terme

1.3.2.1. Les réseaux sémantiques

1.3.2.1.1. Le modèle de Collins et Quillian

Les connaissances dont il est question dans cette section sont associées à la notion de concept. Bien que mal défini (Rossi, 2005), il est possible d'apporter une définition approximative de ce concept en disant qu'il s'agit d'une entité cognitive qui permet de regrouper des connaissances, des objets perçus en catégories sur la base de propriétés communes. Les concepts sont supportés par les mots.

Il est admis dans la littérature que les concepts ne sont pas isolés les uns des autres dans la mémoire sémantique. Ils sont liés entre eux dans des réseaux sémantiques. Ces derniers sont constitués de nœuds et d'arcs. Les nœuds sont associés aux concepts et reliés entre eux par la présence d'arcs. Le modèle proposé par le psychologue Collins et l'informaticien Quillian (1969, 1972) est systématiquement repris dans la littérature. Ce sont les premiers à avoir modélisé la mémoire sémantique en réseaux (Richard, 1990 ; Rossi, 2005). Leur modèle est présenté à la figure 1.2.

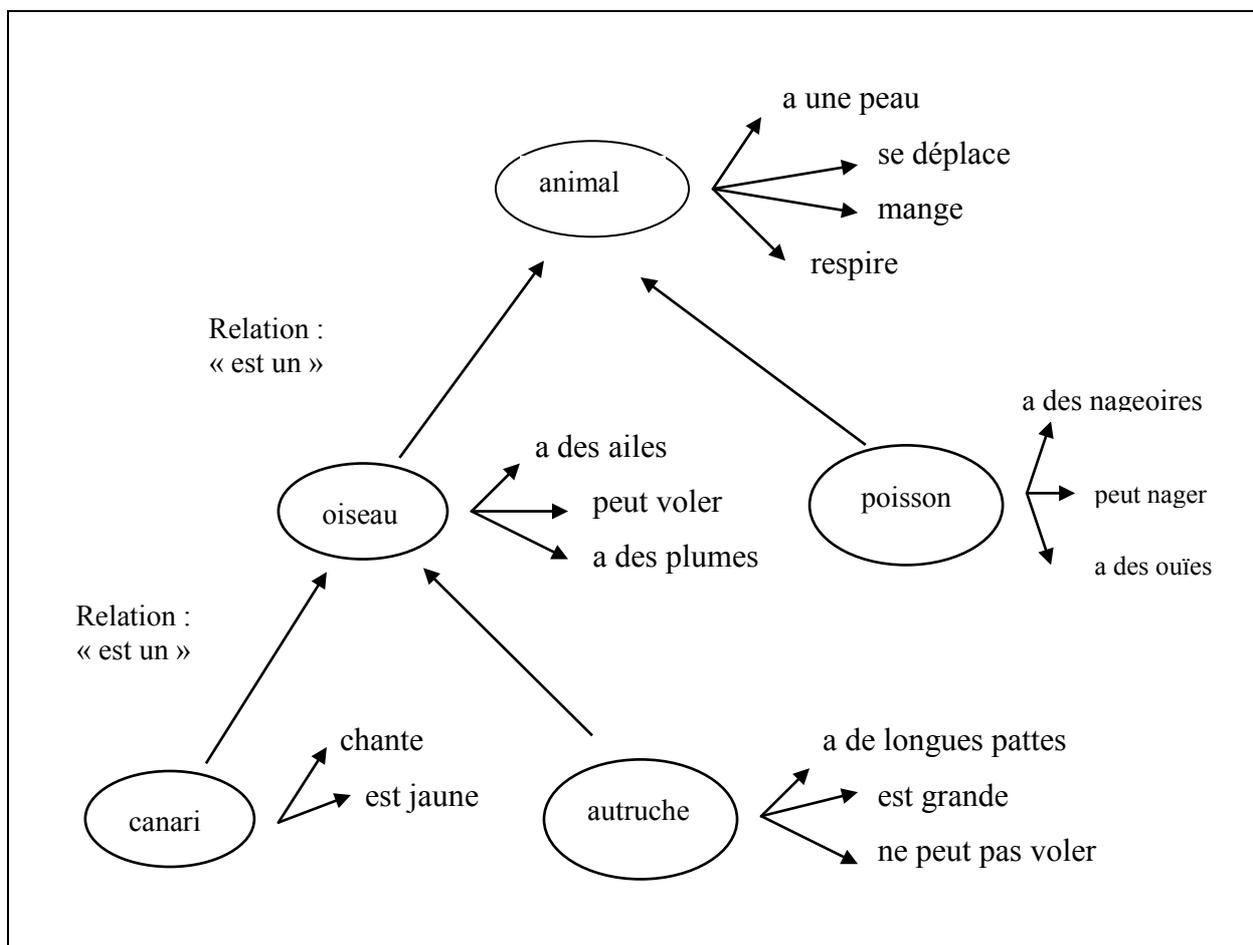


Figure 1.2 : Extrait d'un réseau sémantique proposé par Collins et Quillian (1969).

La figure ci-dessus laisse entrevoir les deux principes qui sous-tendent ce modèle ainsi qu'une règle de fonctionnement. Du point de vue descriptif, il s'agit d'une part du principe de hiérarchie catégorielle, et d'autre part du principe d'économie cognitive. Du point de vue fonctionnel, il est question du processus de diffusion de l'activation ou encore de propagation de l'activation.

Le principe de hiérarchie catégorielle repose sur l'idée que les concepts se situent dans le réseau à différents niveaux qui se distinguent par leur degré de généralité. Plus un concept est situé en haut du réseau et plus il est général. Cela signifie que les propriétés que possèdent les exemplaires de la catégorie considérée sont générales. À l'inverse, plus il est situé en bas du réseau et plus il est spécifique. Ce qui signifie que les propriétés associées aux exemplaires de la catégorie sont spécifiques. D'un point de vue quantitatif, les concepts se situant en haut du réseau regroupent beaucoup plus d'exemplaires que les concepts se situant en bas du réseau. Ce principe de hiérarchie catégorielle est aussi un principe d'emboîtement. Il sera question de concept/catégorie surordonné et de concept/catégorie sousordonné. Le concept « oiseau » est surordonné par rapport au concept « canari ». Ce même concept « oiseau » est sousordonné par rapport au concept « animal ». La relation qui lie ces différents concepts est la relation « est un » (ISA)

Le principe d'économie cognitive suggère que les propriétés stockées dans le réseau sémantique doivent l'être de façon efficace. Cette efficacité repose sur la non redondance des propriétés à chacun des niveaux ; c'est-à-dire que les propriétés, les informations ne sont stockées qu'une seule fois. Ainsi, chaque niveau conceptuel du réseau sémantique va être associée à des propriétés spécifiques du niveau considéré. Un concept situé à un niveau précis héritera des propriétés des concepts qui lui sont surordonnés. Le concept « canari » est associé aux propriétés *jaune* et *peut chanter* et il hérite des propriétés *a des*

ailles, a des plumes et peut voler ou encore *se déplace, respire et a une peau*. Ces propriétés sont stockées à des niveaux surordonnés.

Le processus de diffusion de l'activation repose sur l'idée que l'activation d'un concept dans le réseau sémantique va se répandre aux concepts qui lui sont proches. Ainsi l'activation du concept *canari*, par exemple, va se propager dans le réseau et activer le concept *oiseau*. Ces différents concepts sont, à un moment donné, à l'état de disponibilité et se retrouvent à l'état d'actualisation en mémoire de travail grâce à la mise en œuvre de processus de propagation de l'activation.

Par définition, ce processus est coûteux en temps et d'un point de vue théorique, plus deux concepts sont éloignés dans le réseau et plus le temps pris pour décider si ces concepts sont liés par la relation « est un » ou si l'un des concepts possède les propriétés de l'autre concept est long.

Ces prédictions ont été validées expérimentalement par Collins et Quillian (1969) car d'une part, le temps de vérification qu'un canari est un oiseau est plus court que le temps de vérification qu'un canari est un animal et d'autre part, le temps de vérification qu'un canari a de la peau est plus long que le temps de vérification qu'un canari peut voler. Ce modèle a donc une validité psychologique.

1.3.2.1.2. La conception prototypique de Rosch

Comme cela a été précisé, la formalisation de l'organisation de la mémoire sémantique développée par Collins et Quillian (1969) sous forme de réseaux possède une validité psychologique. Cependant ce modèle n'arrive pas à expliquer certaines données recueillies par d'autres chercheurs. Rosch (1973, 1976, 1978) est l'auteur le plus souvent cité dans la littérature (Richard, 1990 ; Houdé, 1992 ; Lemaire, 1999) lorsqu'il s'agit de mettre en évidence les limites du modèle de Collins et Quillian. Ces limites concernent d'une part les relations

intra-classes et d'autre part les relations inter-classes. Rosch a étudié l'organisation hiérarchique des catégories naturelles.

La première idée défendue par Rosch concernant les exemplaires d'une même catégorie diffère de l'idée défendue par Collins et Quillian. Rosch (1973) ne partage pas l'idée aristotélicienne de l'équivalence des exemplaires au sein d'une même catégorie. Pour elle, les exemplaires d'une même catégorie ne sont pas équivalents et il existerait des exemplaires plus typiques que d'autres. Ils se répartissent donc selon un gradient de représentativité ou de typicalité.

La mise en évidence de ces exemplaires typiques, appelés prototypes, provient du fait que les temps de vérification des exemplaires appartenant à une même catégorie sont significativement différents. Ils sont plus courts pour les prototypes et plus long pour les exemplaires marginaux ou périphériques. De façon précise, les sujets mettent plus de temps, par exemple, pour décider qu'un aigle ou qu'un manchot sont des oiseaux que pour décider qu'un moineau est un oiseau (Ripoll, 2006). Ce résultat a été obtenu aussi bien chez des sujets adultes que des sujets plus jeunes (Richard, 1990).

Les résultats obtenus par d'autres chercheurs concourent à la validité de l'existence d'exemplaires prototypiques (Cordier, 1981, 1985 et 1994) aussi bien concernant les catégories naturelles que les catégories d'objets fabriqués ou encore les figures géométriques.

Le deuxième élément essentiel abordé par Rosch (1973) est relatif aux statuts des différents niveaux d'abstraction des concepts. Elle ne remet pas en cause les différents niveaux de l'organisation hiérarchique des catégories, mais affirme qu'ils n'ont pas la même importance. Le niveau de base, par opposition aux niveaux surordonné et sousordonné/subordonné, est le niveau qui permet de parler d'un concept en conservant le maximum de traits différenciateurs. Autrement dit, ce niveau optimise la quantité d'informations permettant la distinction entre les exemplaires d'une même catégorie.

Ainsi, il est possible de parler du concept *fruit* à différents niveaux d'abstraction : niveau surordonné (*fruit*), niveau de base (*pomme, pêche* et *raisin*) et niveau subordonné (*pomme golden* et *pomme granny*).

Il est possible de faire de même pour le concept *arbre* en introduisant plus de trois niveaux d'abstraction : niveau surordonné 1 (*arbre*), niveau surordonné 2 (*arbre fruitier, arbre d'ornement*), niveau de base (*pommier, poirier, cocotier*), niveau subordonné (*pommier commun, pommier à cidre*).

La mise en évidence de la différence de statut entre les niveaux surordonnée, de base et subordonné a été proposée par Rosch et al. (1976) en testant l'hypothèse que la catégorisation est plus rapide au niveau de base. Pour se faire, les chercheurs ont demandé aux sujets de vérifier l'identité d'un objet à chacun des trois niveaux de la hiérarchie. La prédiction s'est révélée exacte. Le temps de vérification le plus court a été obtenu avec les sujets vérifiant les objets du niveau de base.

1.3.2.2. Les schémas

1.3.2.2.1. Bartlett : initiateur de la théorie des schémas

Bartlett (1932) est l'initiateur de la théorie des schémas (Alba et Hascher, 1983 ; Fayol, 1985 ; Reed, 1999 ; Matlin, 2001 ; Blanc et Brouillet, 2003, Richard, 2004 ; Chanquoy et al. 2007).

L'idée fondamentale apportée par ce chercheur est que les processus d'apprentissage et de remémoration sont des processus actifs. L'interprétation de Bartlett des données recueillies est que ces processus mobilisent des schémas qui organisent activement les expériences passées des individus. Cela signifie que les informations nouvellement traitées vont interagir avec les connaissances de nature schématique intégrées au système cognitif.

D'un point de vue expérimental, Bartlett a demandé à des sujets de lire deux fois un récit. Il était proposé ensuite des tâches de rappel à différents intervalles. Le récit proposé était particulier car éloigné culturellement de

l'environnement des sujets. Il s'agissait précisément d'un conte indien nord-américain (La guerre des fantômes). Une autre particularité est révélée par (Fayol, 1985) : les différents incidents rencontrés dans ce récit n'entretenaient pas entre eux des relations étroites.

L'idée fondamentale défendue par Bartlett découle de phénomènes observés lors des tâches de rappel de ce texte. Quatre phénomènes sont rapportés par cet auteur :

Lors des tâches de rappel, la forme littérale originale avait disparu.

La trame générale de l'histoire était conservée et les détails éliminés.

Les sujets avaient procédé à des réorganisations en mettant en connexion des éléments qui n'étaient pas liés initialement.

Certaines données difficilement compréhensibles avaient été effacées.

La notion de schéma proposée par Bartlett se rapproche de la notion de schème de Piaget (Reed, 1999 ; Matlin, 2001 ; Richard, 2004 ; Chanquoy et al., 2007).

1.3.2.2.2. Les scripts de Schank et Abelson

Les travaux de Schank et Abelson (1977) sont systématiquement cités lorsqu'il s'agit de traiter de l'organisation des connaissances en mémoire à long terme. Ils se sont intéressés aux connaissances schématiques dont la fonction principale est de guider les individus dans des situations routinières. Ces situations routinières font références à des événements sociaux tels qu'aller au restaurant, aller chez le dentiste, prendre un transport en commun ou encore aller faire les courses...

L'idée défendue par ces auteurs consiste à dire que le système cognitif humain est constitué, entre autres, d'entités cognitives qui se construisent au fur et à mesure que les individus font l'expérience, de façon répétée, de situations ou d'événements sociaux. Le fait, par exemple, d'aller régulièrement au

restaurant aboutit à la construction d'une structure générale qui permet à l'individu de s'adapter à la plupart des situations identiques en l'activant.

Cette structure comporte différents éléments d'informations qui sont relatifs aux acteurs, à leurs rôles, à leurs actions, à leurs buts mais aussi aux conséquences des actions produites. La figure 1.3 présente le script du restaurant.

Script : RESTAURANT	
Track : Coffee shop	Roles : S- Customer
Props : Tables	W-Waiter
Menu	C-Cook
F-Food	M-Cashier
Check	O-Owner
Money	
Entry conditions : S is hungry	Results : S has less money
S has money	O has more money
	S is not hungry
	S is pleased (optional)
 Scene 1 : Entering (Entrée)	
Le client entre dans le restaurant.	
Le client cherche une table.	
Le client va vers la table.	
Le client s'assoit.	
 Scene 2 : Ordering (Commande)	
Le client prend la carte des menus.	
Le client choisit les plats.	
La serveuse vient à la table.	
Le client passe la commande.	
La serveuse donne la commande au cuisinier.	
Le cuisinier prépare la nourriture.	

Scene 3 : Eating (Repas)

Le cuisinier donne la nourriture à la serveuse.
La serveuse apporte la nourriture au client.
Le client mange la nourriture.

Scene 4 : Exiting (Sortie)

La serveuse fait l'addition.
Le client donne l'argent au caissier.
Le client sort du restaurant.

Figure 1.3 : Composition théorique du script du restaurant (Schank et Abelson, 1977).

Bower, Black et Turner (1979) sont souvent cités lorsqu'il s'agit de mettre en évidence la validité psychologique des scripts. D'un point de vue méthodologique, ils ont d'une part, demandé à des sujets de nommer les actions les plus importantes dans différents événements sociaux et d'autre part, proposé une tâche de rappel d'histoires lues. Ces dernières comprenaient des événements typiques.

Les résultats recueillis montrent que les sujets s'accordent sur les actions les plus importantes et qu'ils rappellent des informations non contenues dans les énoncés originaux. Ces informations rappelées à tort sont compatibles avec les événements typiques des histoires lues. Les auteurs interprètent ces résultats comme la présence et l'activation de structures générales guidant les sujets. Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par Bartlett en 1932.

Schank (1982) a proposé des structures générales des connaissances encore plus abstraites dont la fonction est de regrouper des scripts sur la base de certaines analogies situationnelles. Il existe, en effet, certaines analogies entre le script de la visite chez le dentiste et le script de la visite chez le docteur. Schank les appelle les MOP (Memory Organization Packet).

1.3.2.2.3. Les caractéristiques des schémas

Les chercheurs s'accordent pour considérer que la mémoire sémantique s'organise autour d'éléments plus étendus que les réseaux sémantiques. Il est question de structures qui regroupent des connaissances qui ne sont pas forcément basées sur les mêmes relations associées aux réseaux sémantiques. Il s'agit d'une structure qui organise les connaissances par blocs ou par paquets.

Ces produits cognitifs renvoient à la notion de schéma même si les termes employés par les chercheurs diffèrent. Cela a été précisé dans la section précédente, Schank et Abelson (1977 et 1979) ont étudié les scripts, Minsky (1975) les frames et Rumelhart (1977) les schémas.

Ces structures font référence à des connaissances se situant à différents niveaux d'abstraction. Il est possible de faire appel à la notion de schéma pour évoquer aussi bien des connaissances relatives à des objets de la vie quotidienne tels que les fruits, les légumes et les tables que des événements sociaux tels qu'aller au restaurant ou chez le médecin. Les chercheurs font appel également à cette notion pour évoquer des connaissances davantage relationnelles que pragmatiques. Il est question en particulier en arithmétique de schémas de problèmes (Greeno et al. 1983).

Ces structures cognitives s'élaborent progressivement et sont tributaires de l'expérience (Hoc et Nguyen-Xuan, 1987 ; Godefroid, 1999). L'acquisition, l'élaboration de tels schémas nécessite la rencontre fréquente de situations faisant appel à ces connaissances pour qu'elles s'intègrent à la mémoire sémantique des individus.

Un certain nombre de chercheurs ont tenté de rapprocher ces notions (Rumelhart et Norman, 1985, Hoc et Nguyen-Xuan, 1987 et Richard, 2004) et trouvent des caractéristiques communes à ces différentes notions.

Les schémas sont des structures cognitives qui possèdent des constantes et des variables. Ils sont donc constitués d'une part, d'éléments fixes et d'autre part, d'éléments qui peuvent varier. Autrement dit, ils s'appliquent à une

multitude de situations particulières. Ce sont donc des structures qui se caractérisent bien souvent par leur dimension abstraite. Lorsqu'un schéma de connaissances est activé et appliqué à une situation particulière il convient de parler d'instanciation de schémas ou encore de particularisation des variables. Baddeley (1990) propose un exemple clair pour distinguer les constantes des variables. Dans un schéma relatif à l'achat de quelque chose dans un magasin, il est question d'échange d'argent et de marchandises. Le fait d'échanger de l'argent et marchandises est un élément fixe du schéma. En revanche, la quantité d'argent échangée et les marchandises considérées sont des éléments qui varient d'une transaction à une autre.

Les schémas sont des objets complexes et peuvent s'imbriquer les uns dans les autres. Pour dire autrement, un schéma peut être un sous-schéma d'un schéma plus général. Cela signifie donc que certaines variables peuvent être des schémas. Différents exemples sont proposés dans la littérature. Il est question du *schéma pomme* pour Le Ny (1999) qui peut être un sous-schéma du *schéma objet naturel* qui est plus général. Dans ce dernier cas, le *schéma pomme* hérite des caractéristiques du *schéma objet naturel*. Rumelhart et Norman (1985) propose le schéma d'une tête qui contient un visage, des oreilles et des cheveux. Le visage, lui-même, correspond un schéma comprenant des yeux, un nez, une bouche, etc. Chacun de ces éléments correspond à un schéma particulier. Dans ce cas, les sous-schémas n'héritent pas forcément des caractéristiques des schémas plus généraux.

Les schémas sont associés au traitement descendant et non ascendant. Ce traitement permet d'effectuer des inférences et de favoriser une non surcharge de la mémoire de travail (Chanquoy et al. 2007). Ces chercheurs rappellent un exemple classique relatif à la résolution de problèmes et la différence de traitement entre d'une part, un expert du domaine considéré et d'autre part, un novice. Pour l'expert, il s'agit de récupérer le schéma approprié à la situation et le particulariser. Seul le schéma est traité en mémoire de travail. En revanche, le

novice, qui par définition ne possède pas encore les schémas de connaissances adéquats va procéder à un traitement ascendant en considérant les éléments du problème un à un tout en maintenant également le but du problème en mémoire de travail. Il est possible que la mémoire de travail se trouve en surcharge.

1.3.2.3. Liens génétiques entre les schémas et les réseaux sémantiques selon Nelson

Très tôt l'intelligence artificielle et la psychologie cognitive se sont trouvées des points communs. L'organisation des connaissances en mémoire à long terme (MLT) basée d'une part, sur les réseaux sémantiques et d'autre part, sur les schémas et les scripts en particulier ont eu une formalisation initiale en intelligence artificielle. Les psychologues cognitivistes de différents courants qui étudient la genèse des structures organisatrices de la mémoire à long terme ou encore la catégorisation ne remettent pas en cause fondamentalement ces formalisations et s'en inspirent dans le développement de leurs recherches.

Les travaux de Piaget et Inhelder (1959) défendent une idée du développement de la catégorisation qui s'appuie sur l'existence de différentes étapes : les collections figurales, les collections non figurales et les classes logiques. Cette dernière étape du développement se rapproche beaucoup de la formalisation proposée par Collins et Quillian (1969). Les travaux de Mandler (1979, 1983 et 1989) de Carbonnel (1978, 1979, 1982) ou encore de Nelson (1983, 1985) relatifs à la catégorisation schématique s'appuient sur la notion de script de Schank et Abelson (1977).

Les travaux de Nelson (1978 et 1983) sont singuliers dans le sens où elle défend l'idée de l'existence d'une relation génétique entre les catégories conceptuelles et les schémas événementiels. Dans un premier temps, l'organisation des connaissances s'articule autour des scripts. Ces derniers sont simples au départ et s'enrichissent, se complexifient au fur et à mesure que les

enfants font l'expérience, de façon régulière, des situations et des événements qui leur sont associés.

Ensuite, les catégories slot-fillers apparaissent. Il s'agit de catégories restreintes et très contextualisées. Elles sont constituées d'éléments qui peuvent se substituer les uns aux autres dans une même case d'un script particulier acquis par les enfants. Ces catégories slot-fillers se rapprochent des catégories taxonomiques, mais sont différentes. En effet, les éléments constitutifs de ces catégories particulières sont regroupés d'un point de vue fonctionnel dans le sens où ils ont la même fonction dans le script. Autrement dit, certains objets se substituent à d'autres objets dans des cases fonctionnelles des scripts.

Une autre différence réside dans l'absence de la relation d'inclusion liant les concepts à différents niveaux.

Enfin, les catégories conceptuelles émergent grâce à la mise en œuvre progressive du processus de décontextualisation. L'émergence des catégories taxonomiques est guidée par l'expérience linguistique, les acquisitions scolaires et la capacité à repérer des fonctions communes dans des contextes différents. Ces contextes différents font référence à des scripts différents

Nelson (1988) insiste sur l'expérience linguistique des enfants. En effet, la seule perception ne permet pas de distinguer les catégories du niveau de base telles que les animaux, les vêtements, les fruits ou encore les jouets. Il est possible de percevoir des chats, des chiens, des poupées ou encore des petites voitures. La relation d'inclusion n'est possible que par l'intervention du langage et l'utilisation de termes génériques regroupant des objets appartenant à une même catégorie. Un adulte utilisera par exemple le terme *jouets* pour demander à son enfant de ranger ses poupées, ses ballons, ses petites voitures...

Les acquisitions scolaires sont également essentielles. Les enseignants ont la responsabilité, entre autres, de l'acquisition du lexique et proposent souvent aux élèves des activités de classement. Ces activités favorisent la capacité des enfants à repérer des fonctions ou des propriétés communes de différents objets.

1.4. La mémoire de travail

1.4.1. Fonctions et capacités de la mémoire de travail

La mémoire de travail (MT) est à distinguer de la mémoire à court terme (MCT). Cette distinction est à l'initiative, entre autres, de Baddeley et Hitch (1974). Ces auteurs remarquent, en effet, que dans les modèles proposés dans la littérature, ces deux notions semblent être équivalentes. Cette équivalence n'est pas justifiée et repose sur aucune donnée expérimentale.

Pour distinguer la mémoire à court terme de la mémoire de travail, Baddeley et Hitch (1974) vont demander à des sujets d'effectuer deux tâches simultanément : une première tâche de mémorisation d'items isolés et une tâche beaucoup plus complexe comme la vérification de phrases, la compréhension de textes ou encore le rappel libre d'une liste de 16 mots. La première tâche de mémorisation comporte au plus 6 items. Ce nombre maximal de 6 se rapproche de la capacité maximale d'éléments qu'il est possible de maintenir dans la mémoire à court terme.

Cette donnée numérique repose sur les travaux de Miller (1956). Il considère que la capacité maximale de l'empan mnésique/mnémorique est 7 items plus ou moins 2. Cependant, cette capacité limitée de la mémoire à court terme peut être dépassée en mettant en place une stratégie de regroupement qui consiste à ne pas considérer les items à stocker individuellement. Ainsi la capacité maximale de l'empan mnésique est 7 chunks plus ou moins 2.

Les données recueillies par Baddeley et Hitch (1974) montrent que les performances à la deuxième tâche se trouvent affectées significativement lorsque le nombre d'items à rappeler lors de la première tâche est 6. Ainsi, il existerait une compétition entre le stockage et le traitement de l'information. Les ressources cognitives allouées à ces deux fonctions seraient flexibles. Une certaine capacité fixe serait allouée à la fonction de stockage. Cependant,

lorsque cette fonction l'exige, la capacité allouée aux traitements serait réduite pour assurer la fonction de stockage.

La mémoire à court terme est à distinguer de la mémoire de travail. Cette dernière a une double fonction : stockage et traitement de l'information. Dans la littérature, les modèles formalisant le fonctionnement cognitif dans des activités complexes comme la compréhension ou la résolution de problèmes privilégient la mémoire de travail à la mémoire à court terme.

1.4.2. Les deux conceptions de la mémoire de travail

Baddeley et Hitch (1974) sont donc les premiers auteurs à avoir introduit une distinction entre la mémoire de travail et la mémoire à court terme. Leurs travaux restent dans la lignée des travaux mettant en avant un modèle de la mémoire au sein duquel il existerait différents registres séparés : une mémoire de travail et une mémoire à long terme. L'information circulerait en passant d'un registre à l'autre. Pour ces auteurs, la mémoire de travail est un registre distinct de la mémoire à long terme et est formée de trois composantes : l'administrateur central, la boucle phonologique et la calepin visuospatial.

Dans une deuxième conception, il n'existerait pas une pluralité de structures mnémoniques et la mémoire de travail serait la partie active de la mémoire à long terme (Gaonac'h, Larigauderie, 2000 ; Le Ny, 2005). Si le modèle de Baddeley et Hitch caractérise la première conception de la mémoire de travail, la littérature met en avant le modèle ACT d'Anderson (1983) pour illustrer la seconde conception (Gaonac'h, Larigauderie, 2000 ; Chanquoy et al., 2007).

Cependant, d'autres auteurs défendent l'idée d'une mémoire de travail comme étant la partie active de la mémoire à long terme. Kintsch (1998) est de ceux-là. Cet auteur propose même de distinguer une mémoire de travail à court terme (Short-Term Working Memory : ST-WM) et une mémoire de travail à

long terme (Long-Term working memory : LT-WM). La figure 1.4 illustre la conception défendue par Kintsch concernant la mémoire de travail à court terme.

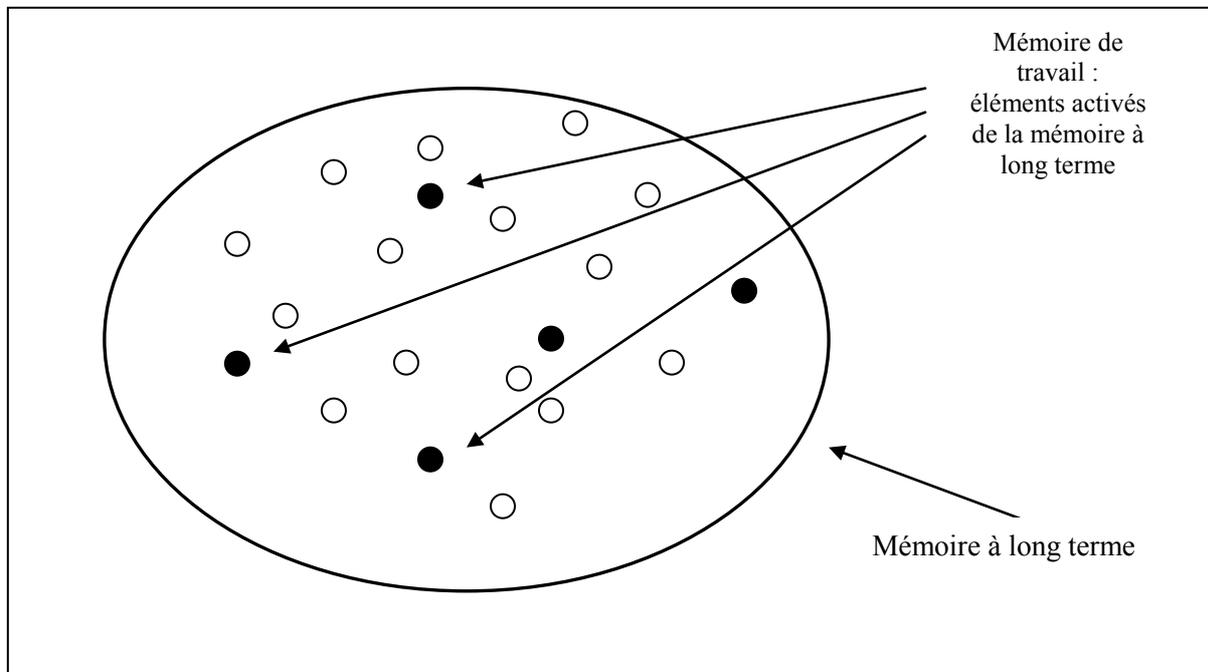


Figure 1.4 : Illustration de la mémoire de travail comme étant la partie active de la mémoire à long terme. Les éléments activés n'excèdent pas 7 chunks (Kintsch, 1998).

Chapitre 2 : Modèles généraux de la compréhension de textes de Kintsch

2.1. 1978 : Les premiers éléments fondamentaux du modèle

La première version du modèle de la compréhension de textes est présentée dans un article écrit en 1978. L'objectif principal de Kintsch et Van Dijk est de décrire un système d'opérations mentales visant à rendre compte de la façon dont le système cognitif humain comprend et produit des textes.

Cet objectif descriptif s'appuie sur l'idée que les textes possèdent tous une structure sémantique qui peut être décrite à un niveau local mais aussi à un niveau global.

Ensuite, cette description tient compte des contraintes du système de traitement, en particulier des capacités limitées de la mémoire de travail. Tenir compte de ces capacités limitées impose que le processus général de la compréhension procède de façon séquentielle.

Un autre élément fondamental du modèle réside dans le fait que le processus de compréhension combine deux sources d'informations. Une première source d'informations qui est externe au lecteur et qui correspond aux éléments du texte lui-même et une seconde source d'informations qui est interne au sujet. Cette deuxième source est constituée de l'ensemble des connaissances du lecteur.

Enfin, le modèle proposé par ces auteurs prend en entrée de système non pas les phrases successives du texte à comprendre mais un ensemble de propositions formées d'un prédicat et de ses arguments. Pour Kintsch et Van Dijk, la proposition est l'unité de traitement la plus adaptée pour décrire le processus général de la compréhension de textes.

Dans cette partie, notre premier objectif est de présenter, de façon détaillée, les arguments accumulés par la recherche pour justifier l'utilisation de la proposition comme unité de traitement. Suivra un exemple détaillé de la traduction en propositions d'un extrait de texte utilisé par Kintsch et Van Dijk.

Il s'agira ensuite de proposer d'une part, une description du produit final de l'activité de compréhension et d'autre part un éclairage particulier sur l'un des processus fondamentaux mis en œuvre lors de telles activités. Il s'agit du processus d'élaboration d'un réseau sémantique.

Cette élaboration ne s'effectue pas en une seule fois mais davantage de façon cyclique. Nous continuerons donc la présentation de ce modèle par aborder la façon dont les cycles fonctionnent.

Enfin, nous préciserons le rôle essentiel des connaissances du lecteur dans le processus général de la compréhension de textes.

2.1.1. La proposition comme unité de traitement

2.1.1.1. Réalité psychologique de la proposition

Le modèle que Kintsch et Van Dijk se proposent de décrire ne prend pas en entrée le texte lui-même mais la liste des propositions qui en est extraite. Cette notion, déjà rencontrée précédemment dans la section relative aux formats des connaissances, est essentielle.

Le premier argument justifiant cette unité de traitement, selon les chercheurs, réside dans le fait qu'il faille différencier les structures de surface (surface structure) des contenus sémantiques (semantic content). Pour les auteurs, la priorité est donnée aux contenus sémantiques et l'unité la plus appropriée semble être la proposition (Kintsch et Van Dijk, 1978).

De nombreuses études ont montré la réalité psychologique des propositions : Forster, 1970 ; Kintsch et Keenan, 1973 ; Wanner, 1975 ; Ratcliff et McKoon, 1978 ; Goetz, Anderson et Schallert 1981.

Ratcliff et McKoon (1978) ont mis en évidence un phénomène d'amorçage au cours d'un test de reconnaissance. Ces auteurs ont présenté à des sujets 4 phrases à raison de 7 secondes par phrase. Ces phrases étaient de différents types. Elles pouvaient être constituées de 1 ou de 2 propositions. Après les avoir

lues, un test de reconnaissance leur était proposé. Une liste de mots était présentée aux participants contenant d'une part, des mots des phrases lues précédemment (mots cibles) et d'autre part, des mots intrus. Ils devaient ensuite dire le plus rapidement possible s'ils étaient inclus dans les phrases lues précédemment. Lorsqu'un sujet répondait par l'affirmative pour un mot donné, l'expérimentateur lui présentait soit un mot de la même phrase soit un mot d'une autre phrase. Les chercheurs ont mesuré les temps de prise de décision. Les résultats montrent que les sujets répondent plus rapidement lorsque le deuxième mot appartient à la même phrase (561 +/- 3 msec contre 671 +/- 4 msec). Cet effet d'amorçage se retrouve également lorsque pour une même phrase, contenant deux propositions, le deuxième mot présenté appartient à la même proposition. Ces effets d'amorçage sont interprétés par les auteurs comme la mise en évidence de la réalité psychologique, en tant qu'unité de traitement, des phrases et surtout des propositions.

Les résultats obtenus par Wanner (1975) se rapprochent de ceux de Ratcliff et McKoon (1978). Il a montré que les mots appartenant à une même proposition sont de meilleurs indices de rappel que des mots appartenant à deux propositions différentes. Pour cela il a utilisé des phrases comportant plusieurs propositions. La phrase ci-dessous illustre le matériel utilisé par cet auteur.

(1) *The mausoleum that enshrined the tzar overlooked the square.*

OVERLOOKED [MAUSOLEUM, SQUARE]
 └── ENSHRINE [MAUSOLEUM, TZAR]

Lorsqu'il a été donné à des sujets la phrase ci-dessus (1) en lecture et qu'ensuite il leur a été présenté l'indice « *overlooked* », ces mêmes lecteurs ont davantage rappelé le mot *square* que *tzar* et cela malgré la plus grande proximité physique de ces deux derniers mots dans la phrase.

Les travaux menés par Goetz et al. (1981) mettent également en évidence le fait que la proposition soit l'unité de traitement privilégié. Pour cela, des sujets devaient effectuer une tâche de rappel libre de huit phrases. Ces phrases étaient constituées soit d'une seule proposition (2) soit de trois propositions (3).

(2) : « *Le client écrit une réclamation à la société.* »

ECRIRE [CLIENT, SOCIETE, RECLAMATION]

(3) : « *Le célèbre professeur enseignait dans la salle de classe.* »

P1 : ENSEIGNER [P2]

P2 : CELEBRE [PROFESSEUR]

P3 : DANS-CLASSE [P1]

L'analyse des protocoles a montré des différences dans la tâche de rappel. Alors que les phrases du type (2) étaient rappelées de façon globale, les phrases de type (3) étaient rappelées partiellement et les rappels se rapprochaient des propositions P1, P2 ou P3. En d'autres mots, si un élément d'une des propositions est rappelé alors la proposition dans sa globalité est rappelée.

Kintsch et Keenan (1973) ont construit des phrases comportant approximativement le même nombre de mots (+- 16). Ces phrases se différenciaient, en revanche, par le nombre de propositions. Ce nombre variait entre 4 et 8. Les sujets devaient d'une part, appuyer sur un bouton aussi vite que possible après la lecture de chaque phrase (reading time) et d'autre part, les rappeler aussi bien que possible juste après. L'analyse des protocoles a montré que plus le nombre de propositions rappelées était élevé et plus le temps d'encodage était lui aussi élevé.

Ces différentes recherches dans lesquelles les sujets devaient lire des phrases et ensuite effectuer différentes tâches telles que la reconnaissance, le

rappel libre ou encore le rappel indicé concourent à valider la réalité psychologique de la proposition en tant qu'unité de traitement.

La théorie développée par Kintsch et ses collaborateurs est par définition une théorie propositionnelle. Elle prend en entrée de système un ensemble de propositions. Ainsi, cette théorie exige au préalable la traduction des textes en ses propositions élémentaires. Nous en proposons un exemple ci-après.

2.1.1.2. Traduction et formalisation propositionnelle

Le processus général de compréhension que propose de décrire Kintsch et Van Dijk (1978) prend en entrée de système, comme cela a été précisé, un ensemble de contenus sémantiques qui se présentent sous la forme d'une liste de propositions. C'est cette liste de propositions qui va être traité par le système.

L'étape qui consiste à extraire les propositions d'un texte ne fait pas partie du modèle. Elle a été décrite dans un article écrit par Kintsch en 1974.

Le texte sur lequel les auteurs se sont appuyés pour décrire leur premier modèle est constitué environ de 1 300 mots et la traduction en notation propositionnelle a été réalisée dans leur article de 1978 sur un seul paragraphe comportant cinq phrases. Cette traduction est proposée ci-dessous. Il s'agit de l'introduction d'un rapport de recherche. Chacune des phrases a fait l'objet d'une traduction en notation propositionnelle et l'ordre des propositions ainsi élaborées est fonction d'une part de l'ordre des phrases et d'autre part de l'ordre d'apparition des prédicats dans les phrases.

Bumperstickers and the cops

A series of violent, bloody encounters between police and Black panther Party members punctuated the early summer days of 1969. Soon after, a group of Black students I teach at California State College, Los Angeles, who were members of the Panther Party began to complain of continuous harassment by law enforcement officers. Among their many grievances, they complained about receiving so many traffic citations that some were in danger of losing their driving privileges. During one lengthy discussion, we realized that all of them drove automobiles with Panther Party signs glued to their bumpers. This is a

report of a study that I undertook to assess the seriousness of their charges and to determine whether we were hearing the voice of paranoia or reality. (Heussenstam, 1971, p. 32)

Traduction des phrases en propositions

Numéro de la proposition		Proposition
Première phrase	1	(SERIES, ENCOUNTER)
	2	(VIOLENT, ENCOUNTER)
	3	(BLOODY, ENCOUNTER)
	4	(BETWEEN, ENCOUNTER, POLICE, BLACK PANTHER)
	5	(TIME:IN, ENCOUNTER, SUMMER)
	6	(EARLY, SUMMER)
	7	(TIME:IN, SUMMER, 1969)
Deuxième phrase	8	(SOON, 9)
	9	(AFTER, 4, 16)
	10	(GROUP, STUDENT)
	11	(BLACK, STUDENT)
	12	(TEACH, SPEAKER, STUDENT)
	13	(LOCATION :AT, 12, CAL STATE COLLEGE)
	14	(LOCATION :AT, CAL STATE COLLEGE, LOS ANGELES)
	15	(IS A, STUDENT, BLACK PANTHER)
	16	(BEGIN, 17)
	17	(COMPLAIN, STUDENT, 19)
	18	(CONTINUOUS, 19)
	19	(HARASS, POLICE, STUDENT)
Troisième phrase	20	(AMONG, COMPLAINT)
	21	(MANY ; COMPLAINT)
	22	(COMPLAIN, STUDENT, 23)
	23	(RECEIVE, STUDENT, TICKET)
	24	(MANY, TICKET)
	25	(CAUSE, 23, 27)
	26	(SOME, STUDENT)
	27	(IN DANGER OF, 26, 28)
	28	(LOSE, 26, LICENSE)
Quatrième phrase	29	(DURING, DISCUSSION, 32)
	30	(LENGTHY, DISCUSSION)
	31	(AND, STUDENT, SPEAKER)
	32	(REALIZE, 31, 34)
	33	(ALL, STUDENT)
	34	(DRIVE, 33, AUTO)
	35	(HAVE, AUTO, SIGN)
	36	(BLACK PANTHER, SIGN)
	37	(GLUED, SIGN, BUMPER)

Cinquième phrase	38	(REPORT, SPEAKER, STUDY)
	39	(DO, SPEAKER, STUDY)
	40	(PURPOSE, STUDY, 41)
	41	(ASSESS, STUDY, 42, 43)
	42	(TRUE, 17)
	43	(HEAR, 31, 44)
	44	(OR, 45, 46)
	45	(OF REALITY, VOICE)
46	(OF PARANOIA, VOICE)	

L'utilisation des lettres capitales pour écrire les éléments propositionnels signifie que le choix est porté sur les contenus sémantiques et non sur les structures de surface. Les prédicats et les arguments sont donc des concepts.

Dans la version ci-dessus, les propositions sont écrites entre parenthèses et le prédicat est le premier élément s'y trouvant. Dans les versions plus récentes, le prédicat se trouve placé avant les parenthèses. Ces dernières contiennent les arguments.

2.1.2. Nature psychologique du produit final de l'activité de compréhension

Kintsch et Van Dijk ont associé leurs efforts depuis 1975 et proposent, trois ans plus tard, un modèle de la compréhension de textes. Comme cela a été dit, l'objectif de ces auteurs est de décrire, de mettre en évidence les processus mis en jeu dans l'activité de compréhension.

Un autre objectif non moins essentiel est de préciser la nature psychologique du produit final de cette activité. Ce deuxième objectif descriptif s'appuie sur l'idée forte, déjà mentionnée, que tout texte possède une structure sémantique pouvant être décrite à deux niveaux : local et global. Au niveau local, il s'agit de la microstructure textuelle et au niveau global, il s'agit de la macrostructure textuelle. Ces structures sémantiques sont de nature propositionnelle.

Comme cela a été dit précédemment, toute phrase peut être traduite sous la forme d'un ensemble de propositions. La microstructure d'un texte est constituée de l'ensemble de ces propositions. Par définition, ce sont des micropropositions.

La structure globale d'un texte est, elle aussi, constituée de propositions. Par définition, ce sont des macropropositions et elles sont hiérarchiquement organisées. Cette hiérarchisation suggère l'existence de différents niveaux macropropositionnels au sein de cette structure globale. L'existence de ces macropropositions tient compte également des capacités limitées du système cognitif dans le sens où il est impossible de garder en mémoire l'ensemble des micropropositions du texte. Ces micropropositions doivent être rattachées à des éléments sémantiques de plus grandes généralités. Ces unités sémantiques correspondent davantage à un résumé du texte lu.

Finalement, La structure sémantique d'un texte est constituée d'un ensemble de propositions formant un réseau hiérarchiquement organisé. Autrement dit, les différentes propositions sont liées entre elles comme dans l'exemple ci-dessous.

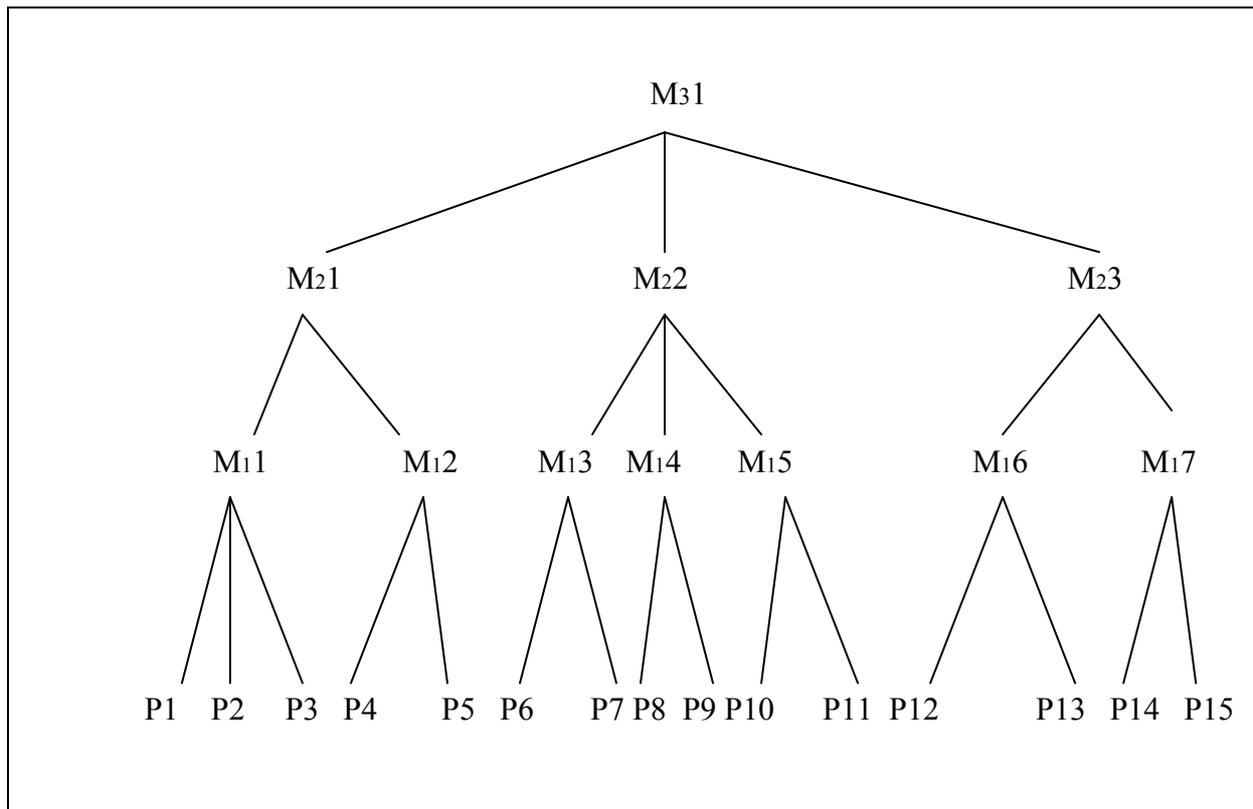


Illustration 2.1 : Structure sémantique d'un texte (Van Dijk et Kintsch, 1983).

Pour Kintsch et Van Dijk, le processus de compréhension de textes aboutit à l'élaboration d'une représentation mentale qui se rapproche de la structure sémantique des textes lus. En effet, elle contient, elle aussi, certaines de ces propositions. La recherche en psychologie cognitive s'intéresse particulièrement aux propositions qui sont rappelées lors de certaines tâches précises. Nous en développerons certains aspects ultérieurement.

Ainsi, Le produit final de l'activité de compréhension de textes est un réseau propositionnel hiérarchisé. Et Le processus général de la compréhension de textes, dans le modèle de 1978, est l'ensemble des activités mentales qui concourent à la construction d'un tel réseau propositionnel.

2.1.3.Un premier processus fondamental

2.1.3.1. Élaboration d'un réseau sémantique hiérarchisé

L'activité de compréhension de textes est hautement complexe dans le sens où elle met en jeu une multitude de processus cognitifs qui fonctionnent soit de façon sérielle, soit de façon parallèle. Une difficulté supplémentaire à laquelle doivent faire face les cognitivistes réside dans le fait que ces processus peuvent également interagir entre eux.

En 1978, un processus fondamental est décrit par les auteurs. Il s'agit du processus d'élaboration d'un réseau sémantique. Ce processus cognitif fonctionne à différents niveaux : local et global.

Ainsi, au fur et à mesure que le lecteur avance dans sa lecture, il extrait, pas à pas, les propositions les unes après les autres. Comme cela a été dit, il s'agit d'un réseau de propositions et non simplement d'une liste de propositions. Ainsi, une des étapes essentielles du processus de compréhension consiste à vérifier la cohérence entre ces micropropositions. Il s'agit précisément de la cohérence locale.

Un des critères de cohérence du modèle de 1978 réside dans le chevauchement d'arguments, c'est-à-dire le fait de posséder, pour deux propositions, un argument en commun. Par exemple, les propositions P1 et P2, ci-dessous, sont dites cohérentes car elles partagent le même argument B.

P1 : (PRED 1, A, **B**, C)

P2 : (PRED 2, D, **B**, F)

De même, les propositions P3 et P4, ci-dessous, sont également cohérentes puisqu'elles partagent le même argument I même si ce dernier se trouve être un argument d'une troisième proposition P5.

P3 : (PRED 3, H, **I**, J)

P4 : (PRED 4, K, L, P5 : (PRED 5, M, N, **I**))

Si la cohérence est vérifiée entre un certain nombre de propositions, alors elles vont être gardées en mémoire de travail pour y subir un autre traitement. Si le critère de cohérence n'est pas satisfait, un processus d'élaboration de propositions par production d'inférences s'engage afin de rendre cet ensemble propositionnel cohérent (Kintsch et Van Dijk, 1978). Nous n'insistons pas pour le moment sur ce processus essentiel du processus général de la compréhension de textes.

Cependant, l'élaboration de la microstructure, c'est-à-dire la construction d'un réseau de micropropositions à partir des structures de surface du texte, n'est pas suffisante pour comprendre le texte dans sa globalité. En effet, ces micropropositions doivent être mises en relation avec ce qu'il convient d'appeler le thème général du discours (topic of discours). Un deuxième processus fondamental de la théorie de Kintsch (1978) est celui de la construction, de l'élaboration des macropropositions. Les titres, les sous-titres ou encore le thème de la première phrase sont des indices textuels qui favorisent la construction des macropropositions. Cependant, d'une façon générale, ces dernières dérivent des micropropositions.

La construction, l'élaboration des macropropositions à partir des micropropositions s'effectue à partir d'un ensemble de règles (opérations) appelées les macrorègles. Elles sont au nombre de trois : la suppression, la généralisation et la construction.

La règle (l'opération) de suppression permet d'éliminer les micropropositions qui n'interviennent pas, d'une façon ou d'une autre, dans l'interprétation d'autres micropropositions.

La règle (l'opération) de généralisation permet de remplacer une séquence de micropropositions par une macroproposition dont le contenu sémantique se caractérise par un niveau d'abstraction immédiatement supérieur.

La règle (l'opération) de construction permet de remplacer une séquence de propositions appartenant à la microstructure par une macroproposition qui est associée à un fait plus global et dont les éléments constitutifs en seraient les faits associés aux micropropositions.

Ces macrorègles sont récursives c'est-à-dire qu'elles s'appliquent évidemment aux propositions de la microstructure mais aussi aux macropropositions elles-mêmes. Autrement dit, une fois que les macropropositions ont été élaborées, ces mêmes macrorègles leur sont appliquées pour aboutir à un deuxième ensemble de macropropositions correspondant à un deuxième niveau de généralité et ainsi de suite jusqu'à ce que les conditions de mise en œuvre de ces macrorègles ne soient plus satisfaites. L'application récursive des macrorègles s'accompagne de critères de plus en plus sélectifs d'élaboration de macropropositions (Kintsch et Van Dijk, 1978).

La macrostructure élaborée à partir des règles de suppression, de généralisation et de construction est un réseau de propositions organisées de façon hiérarchique.

Si nous reprenons l'illustration de la structure sémantique précédente (p. 9), l'application des macrorègles aux quinze micropropositions (P1,...P15) de la microstructure permet d'élaborer un premier niveau de la macrostructure de 7 macropropositions (M11, M12,...,M15) par exemple. Ces mêmes macrorègles appliquées à ces 7 macropropositions aboutissent à l'élaboration d'un deuxième niveau de la macrostructure de 3 macropropositions (M21, M22, M23) par exemple. Enfin, l'application de ces mêmes règles aboutit à l'élaboration d'un troisième niveau constitué d'une seule macroproposition M31.

L'illustration précédente laisse à penser que les micropropositions sont obligatoirement modifiées. Ce n'est pas toujours vrai. En effet, certaines d'entre elles vont être effacées, d'autres vont se combiner pour aboutir à la construction de nouvelles propositions, mais d'autres encore vont rester inchangées et appartenir en état à la macrostructure. C'est le cas par exemple des propositions

extraites du titre ou encore des sous-titres des paragraphes du texte. Finalement une quatrième opération est proposée par Van Dijk (1980). Elle correspond à l'idée que certaines micropropositions vont appartenir à la macrostructure sans subir de transformation. Goanac'h et Passerault (2006, p. 350) qualifient cette quatrième opération d'opération zéro.

D'un point de vue sémantique, le processus de compréhension aboutit à un réseau propositionnel hiérarchiquement organisé de micropropositions et de macropropositions. Ces dernières se retrouvent aux niveaux les plus élevés de la structure sémantique.

2.1.3.2. Validité psychologique des macropropositions

La validité psychologique des propositions est largement admise. Il s'agit dans cette section de s'intéresser maintenant à la validité psychologique de la construction ou l'élaboration des macropropositions qui sont des propositions spécifiques. En effet, d'après ce qui précède, ces propositions spécifiques réduisent et organisent les informations contenues dans les textes.

Différentes observations vont dans le sens de l'existence du processus d'élaboration des macropropositions. Dès 1973, Kintsch et Keenan ont observé lors d'une tâche de rappel que les propositions se situant aux niveaux les plus élevés de la structure sémantique sont mieux rappelées que celles se situant aux niveaux inférieurs. Dans l'article écrit en 1978, les auteurs proposent une nouvelle interprétation de ce fait observé en termes de fréquence de traitement. Cette interprétation sera développée dans la prochaine section.

Guindon et Kintsch (1984) ont montré la mise en œuvre du processus d'élaboration des macropropositions au cours même du processus de compréhension. Ce processus est, de plus, automatique. Pour cela, ils ont fait lire à des étudiants des paragraphes extraits de différents textes. Ils ont manipulé ces paragraphes de telle sorte que pour un certain nombre d'entre eux la première phrase annonçait le thème traité et pour d'autre cette première phrase

thématique était effacée. Ils ont ensuite construit des couples de mots appartenant à différentes phrases. Ces couples étaient de trois types :

Les macro-paires (Macro words) : les mots appartiennent à la phrase annonçant le thème. En d'autres termes, les concepts appartiennent à la même macroproposition.

Les micro-paires (Micro words) : les mots appartiennent à une même phrase autre que la première. Cela signifie que les concepts appartiennent à la même microproposition.

Les paires différentes : les mots appartiennent à deux propositions différentes de la microstructure : les concepts appartiennent pour l'un à une microproposition et pour l'autre à une autre microproposition du même paragraphe.

Ils ont mesuré le temps de prise de décision à la question de l'appartenance ou non des mots présentés en deuxième position au paragraphe lu. Le protocole expérimental choisi s'appuie sur un phénomène cognitif plus connu sous le nom d'amorçage. L'amorçage sémantique, déjà mentionné dans la section consacrée à la validité psychologique des propositions (Ratcliff et McKoon (1978)), rend plus disponible la signification d'un mot par la présence antérieure d'un autre mot.

Les résultats obtenus montrent que les temps de réaction sont plus courts lorsque les mots appartiennent à une même macroproposition que lorsqu'ils appartiennent à la même microproposition. De même, les temps de réaction sont plus courts pour deux mots appartenant à une même microproposition que pour deux mots appartenant à deux micropropositions différentes.

Les chercheurs interprètent les premiers résultats cités comme la mise en œuvre d'un processus de construction de macropropositions. Les seconds résultats confirment la validité psychologique des propositions.

Les premiers résultats sont obtenus également lorsque la première phrase annonçant le thème n'est pas présente. C'est un élément en faveur de la mise en

œuvre d'un processus automatique d'élaboration de macropropositions. Les auteurs affirment que la formation de la macrostructure provient des stratégies naturellement développées par les lecteurs.

Ces auteurs précisent tout de même que ce processus d'élaboration de macropropositions peut ne pas être un élément systématique. Ils pensent en particulier à la situation où certains processus qui précèdent l'éventuelle élaboration macropropositionnelle seraient coûteuses cognitivement.

Ainsi, il est même possible que ce processus d'élaboration ne soit pas du tout mis en oeuvre (Kintsch, 1998).

D'autres auteurs comme Lorch, Lorch et Mathews (1985) se sont aussi intéressés à la construction, à l'élaboration des macropropositions au cours même de l'activité de lecture. Leur protocole était différent et il s'agissait pour les participants de lire des textes qui ont été manipulés. Ces textes comportaient une douzaine de paragraphes chacun. Deux thèmes principaux y étaient abordés : géographie et économie. Ces thèmes principaux étaient ensuite subdivisés en thèmes plus précis (Attribute) comme le climat pour la géographie ou les importations et les exportations pour l'économie. Ces différents thèmes concernaient deux pays fictifs : Morinthia et Culatta.

Certains textes étaient fortement structurés (Attribute organised) dans le sens où l'ordre d'apparition des paragraphes respectait une structure hiérarchisée allant d'un thème principal aux sous-thèmes pour les deux pays et ainsi de suite. Pour les autres textes, l'organisation n'était pas la même (disorganised).

Les auteurs ont mesuré le temps de lecture (reading time) de certaines phrases cibles (target sentences) de ces textes. Pour chaque paragraphe lu, ils se sont intéressés à la première phrase (topic sentences) et à une autre qui lui était subordonnée (non-topic sentences). Les données recueillies par les auteurs montrent un temps de lecture beaucoup plus important lorsque les lecteurs abordent un nouveau thème principal. Pour les phrases subordonnées, les

différences ne sont pas significatives selon qu'elles appartiennent à un paragraphe associé à un thème principal ou non.

Ce résultat s'observe uniquement dans le cas où les textes sont fortement structurés. Pour les textes moins bien structurés, il n'y a pas de différence entre le temps de lecture de la première phrase d'un paragraphe principal et la première phrase d'un sous-paragraphe. Un résultat identique est obtenu pour les phrases subordonnées.

Les auteurs interprètent ce temps de lecture plus long, pour la première phrase d'un nouveau thème principal dans un texte structuré, comme la mise en œuvre d'un processus de récupération d'une représentation mentale tenant compte de la structure thématique des textes lus et de l'intégration des nouvelles macropropositions extraites.

2.1.4. Les cycles de traitement

2.1.4.1. Fonctionnement des cycles

Le processus général de la compréhension de textes a pour produit final une structure sémantique propositionnelle. Ce processus d'élaboration ne peut être mis en œuvre en une seule fois. Le traitement se fait donc de façon séquentielle. Selon Le Ny (2005), Kintsch est le premier à avoir développé ce caractère cyclique et l'argument principal se trouve dans les capacités limitées du système cognitif humain, en particulier la mémoire de travail (Kintsch et Van Dijk, 1978). Rossi (2008) reconnaît, lui aussi, l'importance des travaux de Kintsch et en particulier sa description du processus de traitement par cycle.

Kintsch et Van Dijk postulent que le système de traitement de l'information accumule un certain nombre de propositions avant de les traiter. En d'autres mots, le système traite des blocs de propositions (chunk). Le nombre de propositions n'est pas fixe et serait lié au nombre de propositions dans chacune des phrases. Ils font donc l'hypothèse que le système traite les phrases les unes après les autres. Ils précisent également que le nombre de propositions traitées

au cours de chaque cycle dépend également du texte lui-même mais aussi des caractéristiques du lecteur.

Après une première étape de traitement, les principales questions soulevées concernent d'une part, le nombre de propositions gardées en mémoire en vue d'un traitement ultérieur et d'autre part, la façon dont ces propositions sont sélectionnées. Les auteurs font l'hypothèse que le magasin de stockage de la mémoire à court terme a une capacité limitée à s propositions. Le choix des propositions gardées en mémoire doit satisfaire à la fois une contrainte d'importance et une autre de récence. En d'autres mots, les propositions les plus importantes et celles qui sont les plus récentes vont être à nouveau traitées.

Ainsi, à chaque cycle, il y a en mémoire de travail n nouvelles propositions correspondant à l'accumulation d'un nouveau bloc d'unités sémantiques et s propositions du cycle précédent et qui se trouvent dans le magasin de stockage. Ces s propositions stockées jouent un rôle essentiel puisqu'elles vont permettre de faire le lien entre les résultats des différents cycles de traitement. Nous allons revenir en détails sur la façon dont les cycles fonctionnent. Nous nous appuierons sur le traitement des cycles 1 et 2 proposée par Kintsch et Van Dijk.

2.1.4.2. Fonctionnement des cycles : exemple.

Analyse propositionnelle des deux premières phrases

Numéro de la proposition		Proposition
Première phrase	1	(SERIES, ENCOUNTER)
	2	(VIOLENT, ENCOUNTER)
	3	(BLOODY, ENCOUNTER)
	4	(BETWEEN, ENCOUNTER, POLICE, BLACK PANTHER)
	5	(TIME:IN, ENCOUNTER, SUMMER)
	6	(EARLY, SUMMER)
	7	(TIME:IN, SUMMER, 1969)
Deuxième phrase	8	(SOON, 9)
	9	(AFTER, 4, 16)
	10	(GROUP, STUDENT)
	11	(BLACK, STUDENT)
	12	(TEACH, SPEAKER, STUDENT)
	13	(LOCATION :AT, 12, CAL STATE COLLEGE)
	14	(LOCATION :AT, CAL STATE COLLEGE, LOS ANGELES)
	15	(IS A, STUDENT, BLACK PANTHER)
	16	(BEGIN, 17)
	17	(COMPLAIN, STUDENT, 19)
	18	(CONTINUOUS, 19)
	19	(HARASS, POLICE, STUDENT)

Dans leur article de 1978 le nombre n de propositions qui entrent dans le système varie en fonction du nombre de propositions contenues dans chacune des phrases et le nombre de propositions stockées dans le magasin de stockage à court terme est 4.

La première phrase est traitée en un seul cycle. Au départ, les sept propositions sont à l'entrée du système et le magasin de stockage est vide puisqu'il s'agit du premier cycle. Les propositions P1, P2, P3, P4 et P5 sont cohérentes puisqu'elles partagent un même argument : ENCOUNTER. Cependant, la proposition P4 est la plus importante parce qu'elle partage le concept POLICE avec le titre. Les propositions P6 et P7 sont cohérentes avec la proposition P5. Le réseau propositionnel est donc de la forme suivante à la fin du cycle 1 :

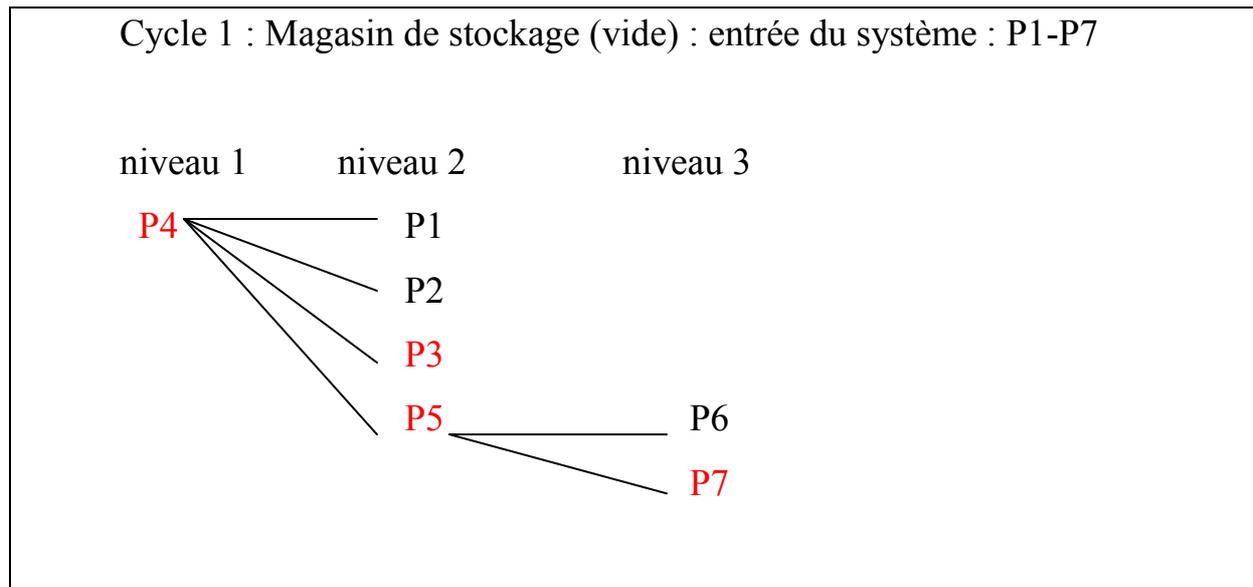


Illustration 2.2 : Réseau propositionnel à la fin du cycle 1, Kintsch et Van Dijk, 1983.

Comme cela a été dit précédemment, la stratégie mise en place pour sélectionner les propositions qui vont être stockées doit tenir compte de l'importance des propositions et de leur récence. Cette stratégie est appelée la stratégie dite du « bord d'attaque » (The leading-edge strategy). Elle consiste à sélectionner les propositions de l'arête inférieure du réseau initialement construit en commençant par le niveau le plus élevé. Cette sélection continue aussi longtemps que la proposition retenue au niveau $i + 1$ est plus récente que celle retenue au niveau i . Si tel n'est pas le cas, il faut remonter le plus haut possible dans le graphe et récupérer la proposition la plus récente non encore sélectionnée. À la fin du cycle 1, P4, P5, P7 et P3 sont les propositions stockées dans la mémoire de travail en vue d'un traitement ultérieur. En effet, les propositions P4, P5 et P7 suivent l'arête inférieure du réseau sémantique. Ils appartiennent respectivement aux niveaux 1, 2 et 3. Et à chaque fois la proposition du niveau $i+1$ est plus récente que celle du niveau i . Or le magasin de stockage accepte 4 propositions. Il faut donc remonter au niveau 2 et sélectionner la proposition la plus récente. Il s'agit de P3.

Ainsi, lorsque débute le cycle 2, le magasin de stockage contient P4, P5, P7 et P3 tandis qu'en entrée de système il y a l'ensemble des propositions de la phrase 2.

P4, P9, P15 et P19 sont cohérentes puisqu'elles partagent les arguments « BLACK PANTHER » et « POLICE ». P8 et P9 sont cohérentes puisque P9 se trouve être un argument de P8. P10, P11, P12, P17 sont cohérents avec P15. P13 est cohérente avec P12 puisque cette dernière est un argument de P13. P13 et P14 partagent un même argument : « LOCATION :AT ». Elles sont donc cohérentes. P17 et P19 sont respectivement arguments de P16 et P18.

Ainsi, le graphe correspondant au cycle 2 est de la forme suivante :

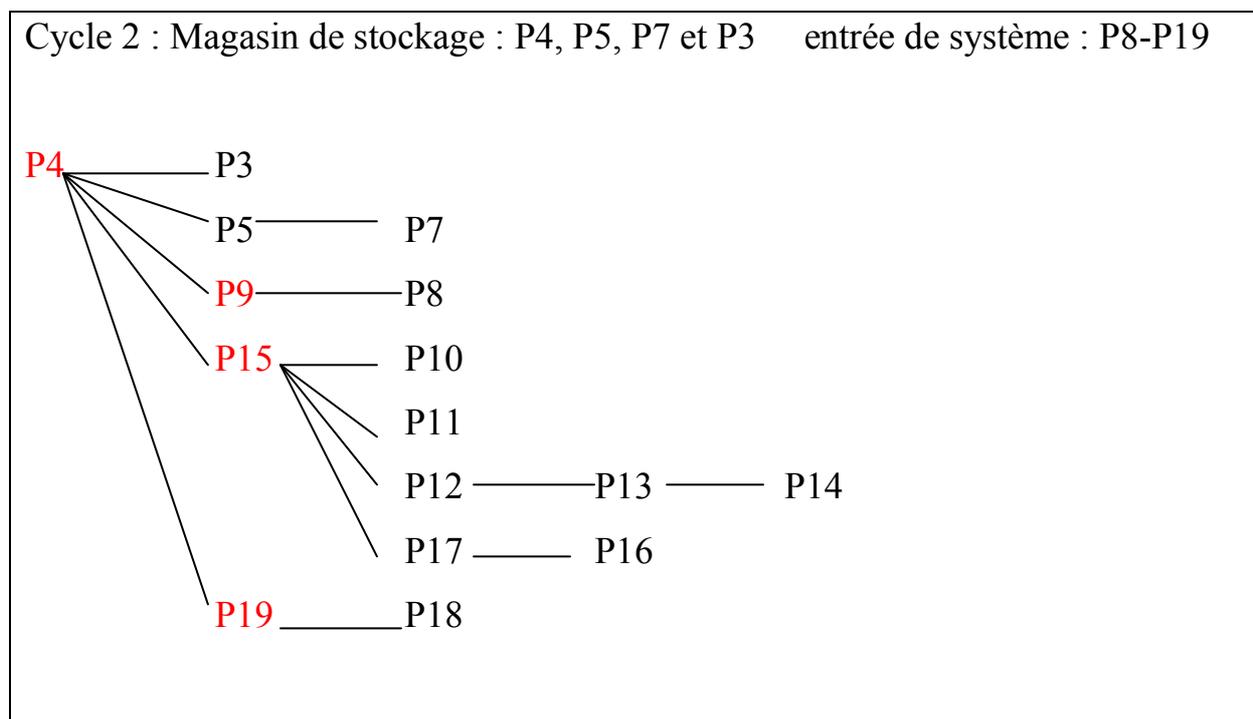


Illustration 2.3 : Réseau propositionnel à la fin du cycle 1, Kintsch et Van Dijk, 1983, p. 378.

Le traitement de la première phrase aboutit à l'élaboration d'un graphe cohérent. Le traitement de la deuxième phrase aboutit également à l'élaboration d'un graphe cohérent.

À la fin du traitement de la deuxième phrase, il est à noter que certaines propositions ont participé aux deux cycles de traitement. C'est le cas par

exemple de P4. D'ailleurs cette proposition participera au cycle suivant parce qu'elle fait partie des quatre propositions retenues dans le magasin de stockage de la mémoire de travail selon la stratégie du « bord d'attaque ». P4, P9, P15 et P19 participent au troisième cycle de traitement.

Au final, P4 aura été maintenue quatre fois en mémoire de travail lors du processus de compréhension de ce paragraphe. D'autres propositions auront été retenues trois fois, deux fois, une fois ou aucune fois.

Ce maintien plus ou moins long de certaines de ces propositions en mémoire de travail joue un rôle important dans le modèle proposé puisqu'elle détermine la plus ou moins grande probabilité pour chaque proposition à être rappelée. Elle détermine également la plus ou moins grande probabilité pour chaque proposition à être stockée en mémoire à long terme (Kintsch, van Dijk, 1978). Ainsi, les observations, très tôt rapportées par Kintsch et Keenan (1973) qui concernaient le rappel des propositions situées aux niveaux les plus élevés de la structure sémantique s'explique en 1978 par le fait qu'elles sont traitées plus souvent que les autres.

Le processus de compréhension appliqué au paragraphe proposé par Kintsch et van Dijk aboutit à un réseau propositionnel hiérarchisé dans lequel les 46 propositions y figurent. Les propositions de ce graphe vont subir un autre traitement par l'intermédiaire des macrorègles pour aboutir finalement à la macrostructure. Microstructure et macrostructure combinées forment ce que les auteurs appellent la base de texte.

Les éléments ci-dessus donnent à penser que le produit final de la compréhension est obtenu à la suite d'un certain nombre de processus automatiques.

2.1.5. Les connaissances du lecteur

Les chercheurs s'accordent pour affirmer que le processus général de la compréhension de textes mobilise de l'information provenant de deux sources différentes : une première source externe au sujet et une autre interne au sujet (Kintsch, 1978 ; Fayol, 1992, Goanac'h et Larigaudière, 2000 et Le Ny, 2005).

Cette première source d'informations concerne le matériel linguistique proposé au lecteur. Il s'agit du discours qui se présente soit à l'oral soit à l'écrit. Dans notre cas, il s'agit de textes écrits et en particulier d'énoncés de problèmes arithmétiques. Dans le modèle de 1978 ce n'est pas tant la suite linéaire des mots que la liste des propositions qui sont en entrée de système.

La deuxième source d'informations est interne au sujet. Il s'agit de ses connaissances et elles sont nombreuses. Il est possible de distinguer deux grandes classes. Il s'agit d'une part des connaissances linguistiques et d'autre part des connaissances conceptuelles. Le modèle de 1978 prend en entrée de système une liste de propositions. Kintsch et Van Dijk se sont donc beaucoup intéressés aux connaissances conceptuelles dans un premier temps. Et elles interviennent à différents niveaux.

Ces connaissances conceptuelles interviennent à un niveau local pour combler les « trous sémantiques » de la microstructure. En effet, le processus de la compréhension s'effectue pas à pas et au niveau local il s'agit de vérifier la cohérence entre les micropropositions qui se suivent. Cette cohérence est vérifiée par le chevauchement ou encore la répétition d'arguments. Ce chevauchement ou cette répétition n'est pas toujours direct. En effet, un discours peut être cohérent sans pour autant que l'ensemble des propositions soit cohérent directement. Les auteurs partent du principe que certaines informations sont connues des lecteurs. Le lecteur doit donc combler « les trous sémantiques ». Pour cela il fait appel à ses connaissances générales ou contextuelles (Kintsch, Van Dijk, 1978).

Les connaissances du lecteur interviennent également lors de la construction des macropropositions. Il s'agit pour le lecteur d'organiser et de réduire l'information. La construction ou l'élaboration des macropropositions s'effectue à travers la mise en œuvre de différentes opérations. Les connaissances du monde (world knowledge) du lecteur interviennent en particulier lors des opérations de généralisation et de construction.

2.2. 1983 : Le modèle de situation au-delà de la base de texte

L'année 1983 est une date clé de la recherche relative à la compréhension de textes. En effet, un certain nombre de chercheurs commencent à émettre l'idée que l'intervention des connaissances du lecteur va bien au-delà de la construction de la base de texte. Ils proposent un ultime niveau de la représentation : le modèle de situation. Dans une première section, nous présentons ce modèle ainsi que les recherches allant dans le sens de la validation de ce niveau représentationnel. La deuxième section est relative au produit final du processus de la compréhension de textes qui est une représentation multi-niveaux. La dernière section précise le fonctionnement global du modèle de la compréhension proposé par Kintsch et Van Dijk.

2.2.1. Le modèle de situation

2.2.1.1. Définition

1983 marque un tournant dans la recherche sur la compréhension. Pour autant, l'ébauche du modèle proposé en 1978 n'est pas abandonnée. Il s'agit d'un enrichissement. Le modèle proposé en 1983 s'enrichit d'un nouveau type de représentation. Cet ultime niveau de représentation est appelé modèle de situation ou encore modèle situationnel (Richard, 2004). Il s'appuie, en partie, sur la base de texte construite par le lecteur, mais dans le même temps, elle la dépasse dans le sens où elle tient compte également de la situation générale évoquée par le texte. Kintsch et Van Dijk (1983) expliquent précisément qu'il est très difficile de comprendre un texte si le lecteur est incapable d'imaginer une situation dans laquelle les personnages du texte lu et certains autres éléments y soient projetés.

Le modèle de situation possède donc des éléments relatifs aux circonstances d'espaces, de temps ou encore de causalité (Le Ny, 2005). Il se caractérise par une plus forte cohérence et une plus grande complexité par rapport à la base de texte.

Du point de vue de sa structure, elle ne coïncide pas avec la structure propositionnelle de la base de texte. D'après Kintsch et Van Dijk (1983), elle serait davantage de nature schématique sans pour autant se confondre avec des scripts ou des cadres. Les raisons évoquées résident d'une part dans le fait que le modèle de situation est très personnel et basé sur l'expérience du lecteur et d'autre part qu'elle y intègre un certain nombre de détails. Ces deux éléments ne correspondent pas à la définition des scripts ou des cadres.

La construction de ces modèles de situations nécessite l'intervention d'une part des connaissances générales du lecteur mais aussi l'intervention des connaissances dérivées des expériences personnelles (Kintsch, 1998).

2.2.1.2. Validité psychologique du modèle de situation

En 1978, le processus général de la compréhension de textes est fortement attaché à la structure sémantique des textes à lire. Le processus de compréhension aboutit à l'élaboration de la base de texte qui est constitué d'un ensemble de propositions pour la plupart directement dérivées du texte.

Un peu plus tard, un certain nombre de recherches vont d'une part, montrer l'insuffisance de la base de texte et d'autre part, mettre en évidence l'élaboration d'un ultime niveau de la représentation (Kintsch, 1979, ; Kintsch et Perrig, 1985, Schmalhofer et Glavanov, 1986., Kinstch, Welsh, Schmalhofer et Zimny, 1990).

Kintsch (1979) s'intéresse à la compréhension de textes narratifs mais pas seulement. Il prend en considération d'autres types de textes, en particulier les énoncés de problèmes arithmétiques. Il a observé par exemple que des enfants placés dans la situation de résoudre des problèmes arithmétiques étaient tout à fait capable d'effectuer des rappels immédiats d'énoncés sans pour autant les résoudre convenablement. Le fait d'obtenir des rappels immédiats convenables indique la construction effective de la base. Le fait de ne pas pouvoir résoudre

les problèmes indique que l'élaboration de la base de texte n'est pas suffisante pour comprendre la situation décrite.

Kintsch et Perrig (1985) ont aussi montré l'insuffisance de l'élaboration de la base de texte pour effectuer certaines inférences. L'objectif de l'article proposé en 1985 est double : d'une part, mettre en évidence le modèle de situation et d'autre part, explorer la nature de cet ultime niveau de la représentation. Pour atteindre ces objectifs, ils ont proposé à des sujets, dans une première expérimentation, deux versions d'un même texte qui concernait la description d'une petite ville fictive : Baldwin. La différence entre les deux versions résidait dans le point de vue adopté. Le premier point de vue s'appuyait sur une description de la ville sous la forme d'un itinéraire emprunté par une personne entrant dans la ville en conduisant (route version) et la seconde version s'appuyait sur une description de la ville sous la forme d'une vue de dessus (survey version). Cette seconde description se rapprochait d'une description faite à partir d'une carte. Les deux textes étaient équivalents du point de vue des informations véhiculées. Ils se rapprochaient également du point de vue du nombre de phrases (24), du nombre de mots (265 et 283) et du nombre de propositions (81 et 92). D'un point de vue méthodologique, les sujets ne devaient lire qu'une seule des deux versions. Les phrases leur étaient présentées l'une après l'autre toutes les 7 secondes. Ils étaient ensuite soumis à deux épreuves : une première épreuve de rappel libre évaluant la base de texte et une seconde épreuve de vérification de phrases évaluant davantage le modèle de situation. Cette deuxième épreuve consistait à déterminer si les phrases proposées étaient vraies ou fausses par rapport au texte. 35 phrases, centrées particulièrement sur la disposition géographique de certains bâtiments ou de certaines routes, ont été proposées. La vérification de certaines d'entre elles nécessitait la mise en œuvre du processus de production d'inférences. Pour chaque version, des inférences précises devaient être mis en œuvre : « survey inférences » et « route inférences ». Certaines inférences étaient donc

congruents avec la version du texte lu et les autres inférences étaient non-congruents avec la version lue.

Les données recueillies montrent que le texte proposé dans la version « Route » était mieux rappelé que le texte proposé dans la version « Survey ». Ces premiers résultats s'expliquent, entre autres, par le fait que la première version est beaucoup plus cohérente que la seconde. Elle contient, en particulier, des connecteurs temporaux et causaux. Ces connecteurs sont absents dans la seconde version. Et elle autorise la permutation de certaines phrases sans pour autant affecter la compréhension. Ainsi, certaines versions facilitent l'élaboration d'une base de texte.

Pour la seconde tâche en revanche, les données recueillies montrent des sujets peu performants à produire des inférences relatives à la localisation de certains bâtiments. Ces résultats vont le sens de l'élaboration d'une part, d'une base de texte correcte et d'autre part, d'un modèle de situation insuffisant. Les auteurs expliquent ces faibles performances par un niveau de compréhension peu satisfaisant des sujets.

Les auteurs ont ensuite construit d'autres textes beaucoup plus courts et moins complexes. Ils ont mis en œuvre une deuxième expérimentation pour mieux appréhender l'élaboration du modèle de situation. Cette fois-ci- contrairement à l'expérimentation 1, les sujets avaient la possibilité de contrôler les temps d'exposition aux phrases puisqu'ils lisaient à leur rythme. Les textes étaient toujours proposés dans les deux versions précédentes : « route » et « survey ». Les sujets étaient soumis à une première tâche de rappel libre immédiatement après la lecture des textes. Une autre tâche de rappel libre leur était proposée 4 jours plus tard. Enfin, une tâche de vérification d'énoncés leur était proposée également.

Les données recueillies confirment les résultats déjà obtenus à savoir des performances meilleures lors de la tâche de rappel pour la version « route ». La tâche de rappel différée montre une réorganisation lors du rappel des éléments

de la version « survey ». De plus, globalement, les résultats montrent qu'il y a eu effectivement production d'inférences allant dans le sens de la version lue par les sujets.

La recherche menée par Kintsch, Welsch, Schmalhofer et Zimny (1990) vont dans le sens de l'existence de trois niveaux de représentation. Ils reprennent, en partie, les résultats obtenus par Zimny (1987). Pour étudier la reconnaissance de phrases, elle a construit 18 textes comportant environ 200 mots. Tous ces textes s'appuient sur un certain nombre de scripts mettant en scène des histoires stéréotypées. La raison de l'utilisation de ces scripts tient au fait qu'il soit possible de déterminer les modèles de situation correspondants et donc prévoir un certain nombre d'inférences.

Pour chacun de ces textes, Zimny a construit des phrases tests correspondant aux différents niveaux représentationnels du discours : des phrases directement extraites des textes, des paraphrases et des inférences. Les phrases originales (old sentences) sont représentées en mémoire aux différents niveaux de la représentation, les paraphrases sont représentées en mémoire au niveau de la base de texte et au niveau du modèle de situation et enfin les inférences sont représentées uniquement au niveau du modèle de situation. Les sujets étaient répartis dans 4 groupes différents. Ils devaient dans un premier temps lire les textes et effectuer ensuite une tâche de reconnaissance de phrases. Cette tâche de rappel devait s'effectuer pour certains sujets immédiatement après la lecture, pour d'autres 40 minutes après, 2 jours après et enfin 4 jours après.

Les données recueillies montrent d'une part, l'existence de trois niveaux distincts de représentation et d'autre part des temps de rétention différents selon le niveau de la représentation. Les courbes de rétention proposées par Zimny et reprises par Kintsch et al. (1990) et Lemaire (1999) éclairent notre propos.

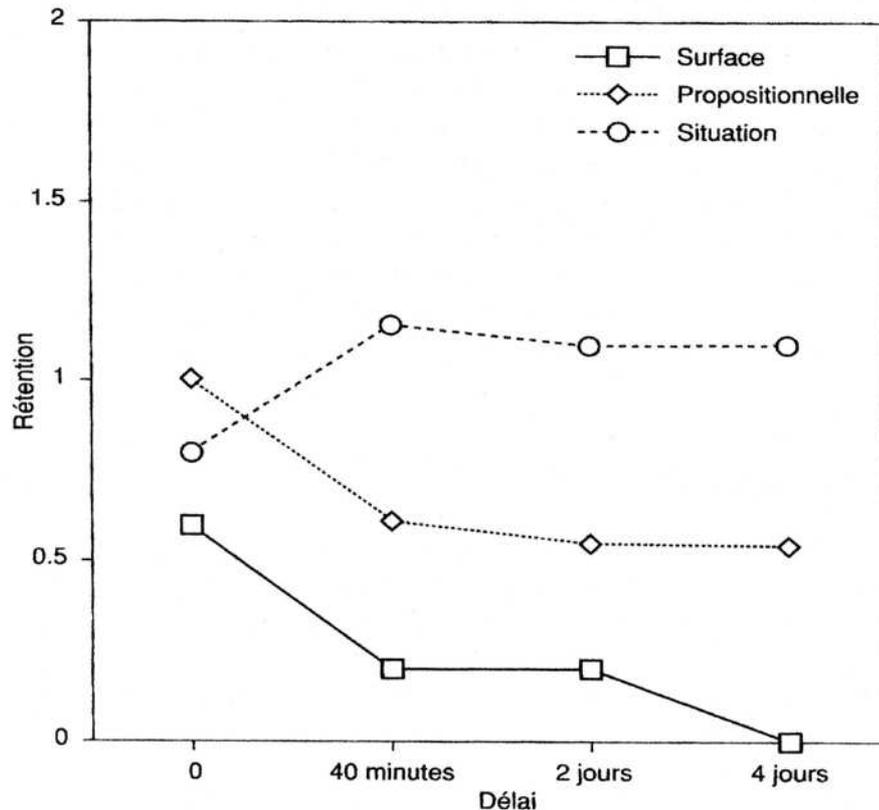


Illustration 2.5 : Courbes de rétention des différents niveaux de représentation proposées par Zimny (1987) et reprises par Kintsch et al. (1990) et Lemaire (1999).

2.2.1.3. Les trois niveaux de la représentation

Ainsi, une avancée essentielle proposée par les auteurs dans le modèle de 1983, comme cela a été précisé, réside dans le fait qu'ils aient apporté des précisions quant au produit final du processus de compréhension de textes. Ce processus aboutit à la construction d'une représentation ou multidimensionnelle.

Le premier niveau prend en compte la dimension linguistique de l'énoncé. Elle concerne donc les structures de surface du texte. Le deuxième niveau a déjà été rencontré dans la version précédente du modèle puisqu'il s'agit du niveau sémantique du texte. Ce deuxième niveau, qualifié de conceptuel par les auteurs, tient compte à la fois de la signification et de la structure du texte des points de vue local et global. Il s'agit de la microstructure et de la macrostructure. Elle est de nature propositionnelle. Les auteurs enrichissent cette représentation avec un

niveau ultime dans lequel les informations contenues dans le texte s'intègrent dans une structure qui n'est plus celle du texte. Cette nouvelle structure dépasse celle du texte. Le niveau situationnelle favorise une réorganisation des informations.

Blanc et Brouillet (2003) proposent une illustration précise de ces différents niveaux représentationnels.

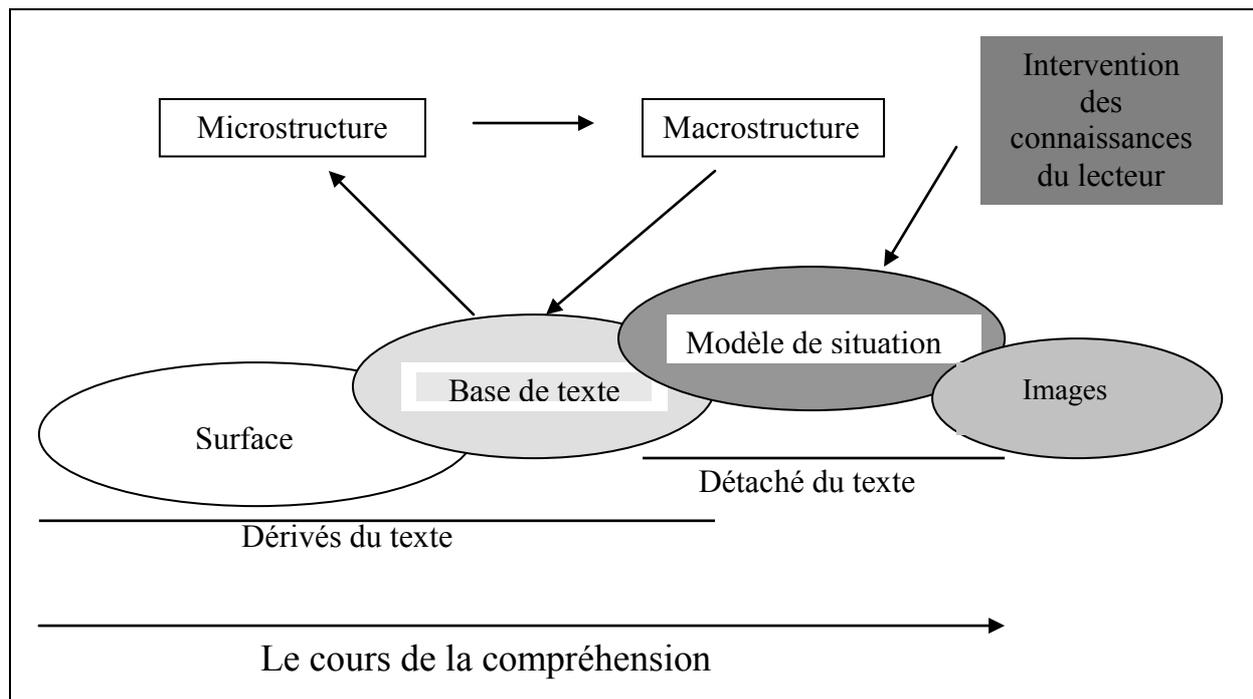


Illustration 2.6 : Les trois niveaux de représentation Blanc et Brouillet (2003) .

Cette illustration laisse penser que ces différents niveaux représentationnels seraient équivalents et auraient la même importance quel que soit le texte. Il n'en est rien. Il existe un lien entre ces différents niveaux. La base de texte peut être plus ou moins cohérente et complète et le modèle de situation plus ou moins adéquat et précis. La prégnance de ces différents niveaux dépend d'une part, du texte à comprendre et d'autre part, de la tâche à effectuer à partir de cette activité de compréhension. Kintsch (1985, 1998) rapporte en particulier les résultats obtenus par Bransford, Barclay et Franks (1972) qui ont construit des textes favorisant l'élaboration de modèles de situation alors même que les sujets étaient peu performants lors de tâches de rappel. À l'inverse, il est possible de

favoriser l'élaboration d'une base de textes cohérente et complète sans pour autant élaborer un modèle de situation adéquat (Moravcsik et Kintsch, 1993).

2.2.2. Vue d'ensemble du modèle

Kintsch et van Dijk (1983) proposent une structure générale de leur modèle. Ils insistent sur les relations qu'entretiennent les différents systèmes mnésiques. Les auteurs distinguent le registre sensoriel, la mémoire à long terme, la mémoire épisodique et enfin le processeur central.

Le registre sensoriel a pour fonction principale de rendre disponible au processeur central les informations perceptives (source externe de l'information).

La mémoire à long terme contient l'ensemble des connaissances du sujet dont les connaissances lexicales et les structures qui fournissent les cadres à la compréhension.

La mémoire épisodique du texte est la représentation que le lecteur élabore lorsqu'il est engagé dans une activité de compréhension. Il s'agit de la représentation multi-niveaux décrit précédemment constituée d'un ensemble de structures de surface, de la base de texte (microstructure et macrostructure) et enfin du modèle de situation. Cette représentation s'affine au fur et à mesure. Elle s'élabore pas à pas. Elle fonctionnerait comme une « pile d'information » dans laquelle le dernier niveau serait le plus récent et qui viendrait remplacer un niveau précédent moins abouti. La représentation la plus récente se situe à la frontière entre le processeur central et la mémoire épisodique du texte.

Le processeur central, quant à lui, est finalement une mémoire de travail car elle a une double fonction de stockage et de traitement. Un processus d'activation de la signification des mots se met en œuvre à partir de l'information perceptive. Le traitement se poursuit par la construction d'une part de propositions atomiques P. Ces mêmes propositions atomiques participent à la

construction de propositions complexes à partir des structures de connaissances activées de la mémoire à long terme. La proposition complexe P_k , en cours d'élaboration, se construit à partir de la proposition complexe déjà construite P_{k-1} et gardée en mémoire.

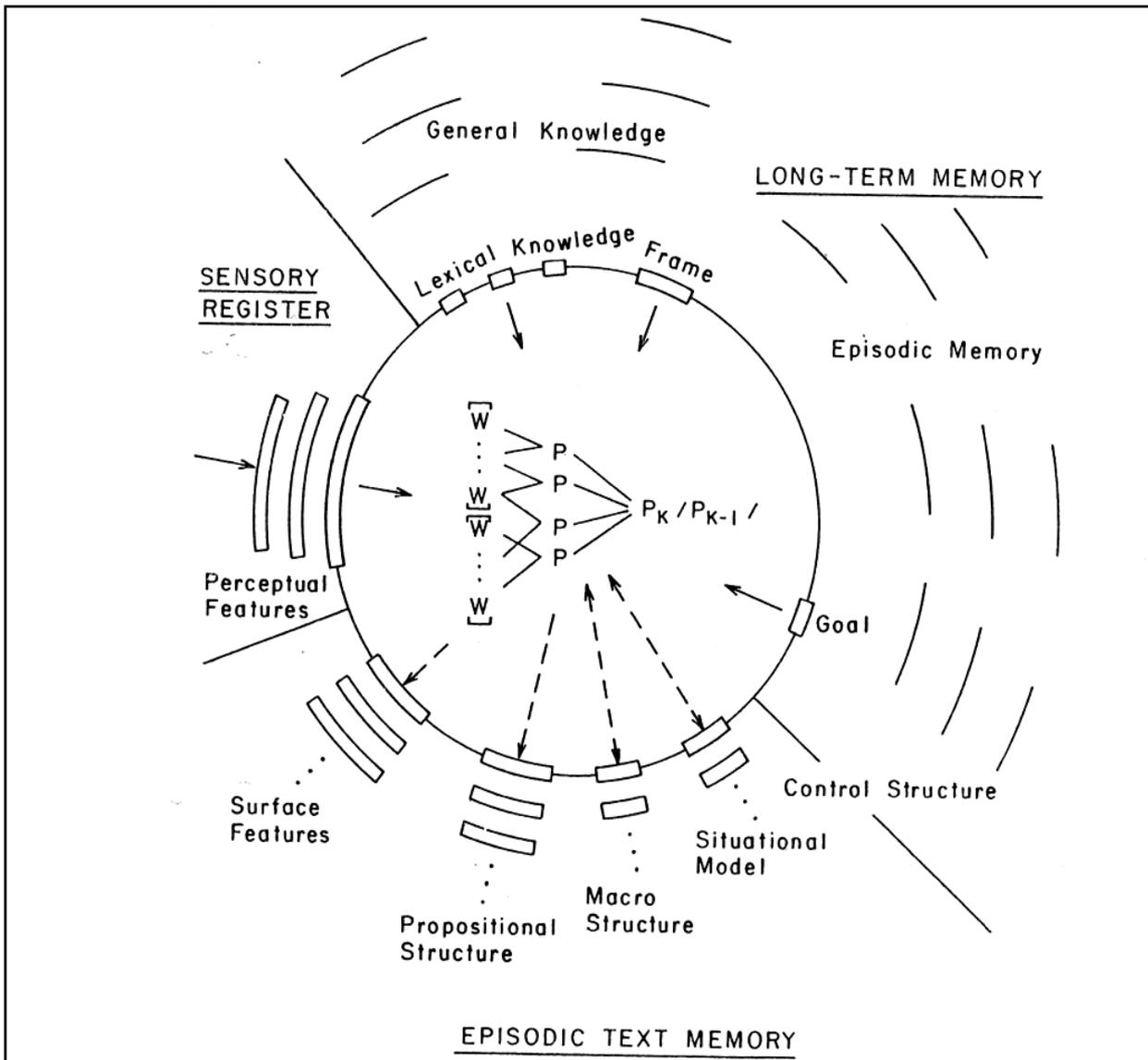


Figure 2.7 : Illustration des différentes composantes mnésiques lors de la compréhension (Van Dijk, Kintsch, 1983).

2.3. 1988 : Le modèle de Construction-Intégration

Tout en gardant les principaux éléments des modèles précédents comme par la proposition comme unité de traitement, la base de texte, le modèle de situation ou encore les cycles de traitement, Kintsch densifie son modèle. Il le prolonge et insiste sur les différentes étapes du processus de compréhension. 1988 marque un nouveau tournant dans la recherche sur la compréhension. Une nouvelle orientation théorique aboutit à l'élaboration d'un modèle plus connu sous le nom de modèle de Construction-Intégration. Ce modèle est dirigé par les données et est constitué de deux phases : une phase de construction et une phase d'intégration.

2.3.1.Nouvelle orientation théorique

Comme cela a été précisé dans le chapitre 1, Les travaux de Bartlett (1932) d'une part, et les travaux de Schank et Abelson (1977) d'autre part, ont fortement influencé ceux relatifs à la compréhension de textes. Le cadre conceptuel des travaux qui en découlent est basé sur la théorie du schéma. Cette théorie repose sur l'idée fondamentale selon laquelle le processus général de la compréhension de textes procéderait d'un traitement descendant (top-down) mettant en œuvre un système de règles puissantes capable d'éliminer très tôt les incohérences, les contradictions et les ambiguïtés.

Sans remettre en cause la notion fondamentale de la psychologie cognitive de « schéma » comme structure organisatrice des connaissances, Kintsch et Van Dijk se posent la question de la place à accorder à cette dernière dans le processus général de la compréhension de textes. Le positionnement de ces auteurs qui va à l'encontre du point de vue traditionnel se fait sentir dès 1983. Ils relèvent en effet deux éléments qui sont difficilement conciliables entre d'une part les schémas qui se caractérisent par leur grande rigidité et d'autre part l'esprit humain qui fonctionne de façon incroyablement flexible et qui est

fortement sensible au contexte. (Kintsch et Van Dijk, 1983 ; Kintsch, 1988 ; Kintsch, 1998).

Kintsch propose donc un modèle de la compréhension de textes qui procède d'un traitement ascendant (bottom-up) qui est donc dirigé par les données. Le modèle présenté en 1988 est constitué de deux phases : une phase de construction et une autre d'intégration.

2.3.2. La phase de construction

Cette phase de construction est composée de différentes étapes qui ne sont pas toutes nouvelles au regard des modèles précédents. Kintsch définit précisément quatre étapes.

Il en existe une première qui consiste à extraire les concepts ainsi que les propositions à partir des entrées linguistiques du texte en cours de traitement. Cette idée n'est pas neuve puisqu'elle est déjà présente dans le modèle de 1978.

La deuxième étape, quant à elle, est innovante puisque ces différents éléments extraits du texte vont servir d'indices de récupération d'autres propositions. Ils vont permettre l'activation de leurs plus proches voisins dans le réseau de connaissance du lecteur. Cette étape est donc une étape d'élaboration. Au cours de cette étape, la sélection des propositions n'est pas définie à l'avance et peut concerner des propositions pertinentes mais aussi des propositions non pertinentes voire contradictoires. Cette étape se caractérise par l'activation d'un ensemble de potentialités propositionnelles qui est rendue possible grâce à trois éléments : l'orientation du traitement (bottom-up), les règles de construction qui sont beaucoup plus « lâches » que précédemment et la non-intervention du contexte à ce moment du processus de traitement.

Kintsch propose un exemple d'activation des connaissances du lecteur et s'appuie pour cela sur la phrase suivante :

Lucy persuaded Mary to bake a cake. (1)

PERSUADE[LUCY, MARY, BAKE[MARY, CAKE]] (2)

Cette traduction propositionnelle (2) a pour prédicat le verbe « PERSUADE » qui accepte trois arguments. Dans le cas présent, le troisième argument est une proposition : « BAKE[MARY, CAKE] ». Cette dernière peut activer un certain nombre de propositions qui se trouvent dans le réseau de connaissance du lecteur et qui lui sont proches comme par exemples :

LIKE[MARY, EAT[MARY, CAKE]]

PUT[MARY, CAKE, IN-OVEN]

RESULT[BAKE[MARY, CAKE], HOT[CAKE]]

PREPARE[MARY, DINNER]

Ces propositions sont des inférences potentielles et il n'y a aucun moyen de choisir, à ce stade du traitement, celles qui sont pertinentes et celles qui ne le sont pas.

Kintsch (1988, 1991) propose une illustration (figure 2.7) des activations provoquées par le concept BAKE . Il s'agit pour Kintsch d'un réseau associatif. Ce réseau illustre une partie des propositions qu'il est potentiellement possible d'activer. D'autres propositions peuvent être activées. Elles ne sont pas mentionnées mais sont représentées par l'astérisque. Certaines propositions sont mises en relation par des flèches. D'autres le sont par des cercles. Cette différence permet de distinguer liaisons positives (flèches) des liaisons négatives (cercles).

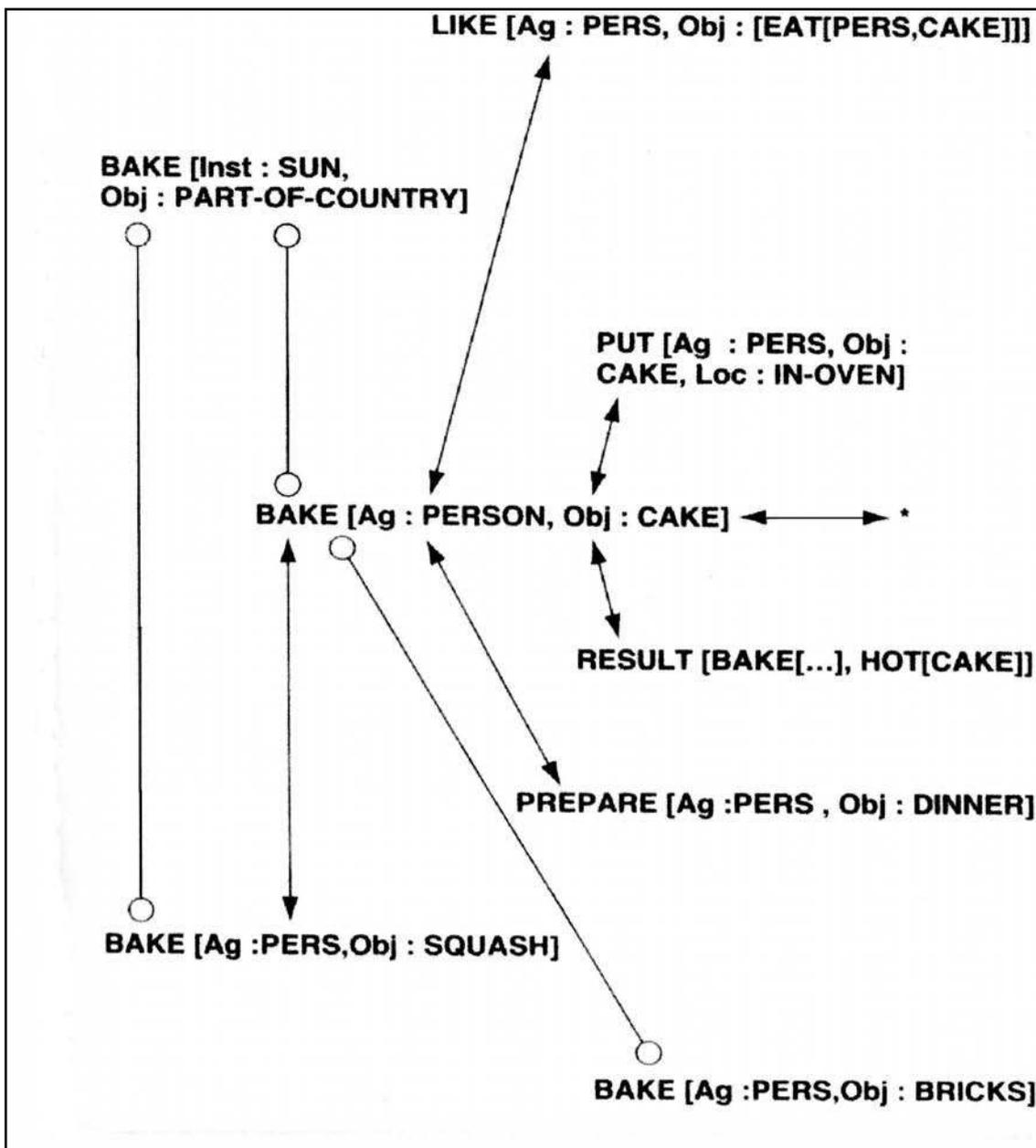


Figure 2.8 : Partie du réseau associatif construit à partir du concept *BAKE* (Kintsch, 1988).

La troisième étape consiste à produire d'autres inférences qui contrairement à celles de l'étape précédente sont beaucoup moins aléatoires et sont davantage contrôlées. Kintsch rappelle qu'il est difficile de les lister toutes et insiste sur deux d'entre elles : les inférences de liaison ou encore les inférences passerelles (Bridging inferences) et les macropropositions (Kintsch, 1988)

Les inférences de liaison interviennent pour donner davantage de cohérence à la base de texte en comblant les manques entre les micropropositions tandis

que les macropropositions ont pour objectif de réduire l'information. Ces inférences sont déjà présentes dans le modèle de 1978.

La quatrième étape de la phase de construction consiste à attribuer à chacune des paires de propositions de la base de texte une force de liaison. Cette force de liaison varie entre -1 et 1. Elle est fonction de la nature de la relation qu'il y a entre deux propositions. Cette relation peut être indirecte, directe ou encore subordonnée. La force de liaison entre deux propositions reliées de façon directe est plus forte que la force de liaison entre deux propositions reliées de façon indirecte. De même que la force de liaison entre deux propositions reliées par une subordination est plus forte que la force de liaison entre deux propositions reliées directement.

La force de liaison peut être négative. Elle l'est effectivement, lorsqu'à partir d'une unité linguistique ou encore un fragment de phrase deux propositions peuvent être formées.

Finalement le processus de construction aboutit à la formation d'un réseau composé de propositions directement extraites du texte, de propositions activées en mémoire à long terme à partir des indices de récupération et des propositions construites par inférence. Ce réseau propositionnel est associatif et se caractérise aussi par les forces de liaisons entre les différents nœuds. D'ailleurs, ce réseau peut être associé à une matrice de connectivité (connectivity matrix) dont voici un exemple.

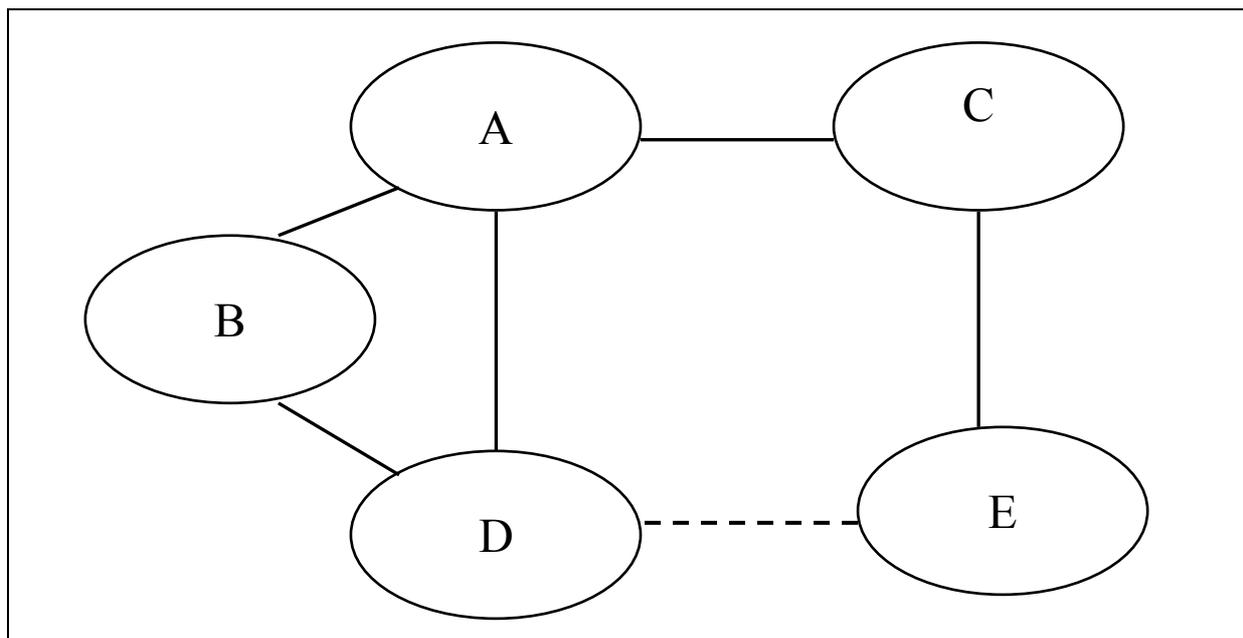


Illustration 2.9 : Réseau associatif proposé par Kintsch (1988).

Ce réseau associatif est composé de cinq nœuds. La force de liaison entre un nœud et lui-même est 1. Certains nœuds ne sont pas connectés avec certains autres. Cela signifie que les forces de liaisons sont nulles entre les propositions se trouvant sur ces nœuds. Les nœuds D et E sont liés de façon négative. Cela veut dire que les deux propositions s’y situant peuvent être formées à partir de la même entrée linguistique du texte à lire.

	A	B	C	D	E
A	1	1	1	1	0
B	1	1	0	1	0
C	1	0	1	0	1
D	1	1	0	1	-1
E	0	0	1	-1	1

La matrice ci-dessus est la matrice de connectivité associée au réseau associatif précédent. Les lignes et les colonnes correspondent aux nœuds du réseau et les valeurs numériques à l’intérieur de la matrice correspondent aux forces de liaisons entre les nœuds.

2.3.3. La phase d'intégration

Le réseau associatif résultant du processus de construction n'est pas le terme du processus de compréhension. Ce réseau n'est pas stable dans le sens où un certain nombre d'éléments considérés dans un premier temps en tant que potentialités doivent être inhibés et en même temps un certain autre nombre d'éléments doivent être renforcés.

Si dans un premier temps, la phase de construction s'est faite sans l'intervention du contexte, la stabilisation du réseau associatif lors de la phase d'intégration en tient compte et s'effectue grâce à un processus de diffusion de l'activation (spreading activation). Elle se diffuse autant de fois que cela est nécessaire, c'est-à-dire jusqu'à la stabilisation du réseau. Cette stabilisation qui se traduit par des renforcements et des inhibitions de liens s'exprime par des forces de liaisons qui deviennent de plus en plus importantes sans jamais dépasser la valeur 1 dans le premier cas et tendent à s'annuler dans le deuxième.

Pour illustrer cette diffusion de l'activation Kintsch a introduit un vecteur d'activation (activation vector) A qui exprime les valeurs d'activation de chacun des nœuds du réseau à l'instant t (Kintsch, 1998). Dans notre exemple de réseau associatif à cinq nœuds, le vecteur d'activation prend la forme suivante :

$$A(t) = (a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), a_5(t))$$

Pour obtenir les valeurs du vecteur d'activation à un instant t , il faut le multiplier par la matrice de connectivité/connexité (traduction de « Connectivity Matrix » selon les auteurs) pour obtenir à nouveau 5 valeurs qu'il s'agit de normaliser en divisant toutes les valeurs obtenues par la plus grande d'entre elles.

Kintsch obtient les résultats suivants :

$$A(t_0) = (1, 1, 1, 1, 1)$$

$$A(t_1) = (1, 0.75, 0.75, 0.50, 0.25)$$

$$A(t_8) = A(t_\infty) = (1, 0.85, 0.46, 0.85, 0.00)$$

Après 9 itérations, le réseau se stabilise. Le nœud E a été supprimé, le nœud C devient un élément marginal du réseau et les trois éléments clés sont les nœuds A, B et D.

L'exemple ci-dessus peut être vu comme la description du modèle Construction-Intégration appliqué au traitement d'un fragment de texte c'est-à-dire une phrase.

Le modèle proposé par Kintsch en 1988 garde un certain nombre de caractéristiques du modèle de 1978 et en particulier le fait que le traitement se fait par cycle. Ainsi, une succession de phases Construction-Intégration est déclenchée pour traiter un texte dans sa globalité. À chaque cycle, un certain nombre de propositions traitées sont gardées en mémoire de travail et les autres éléments sont placés en mémoire à long terme. Si en 1978, c'est la stratégie dite « du bord d'attaque » qui prévalait, Kintsch insiste sur le fait que c'est le critère relatif à la force de liaison qui prévaut dans le modèle de 1988 pour sélectionner les propositions qui vont rester en mémoire de travail (Kintsch, 1998).

Blanc et Brouillet (2003) proposent une illustration qui éclaire notre propos.

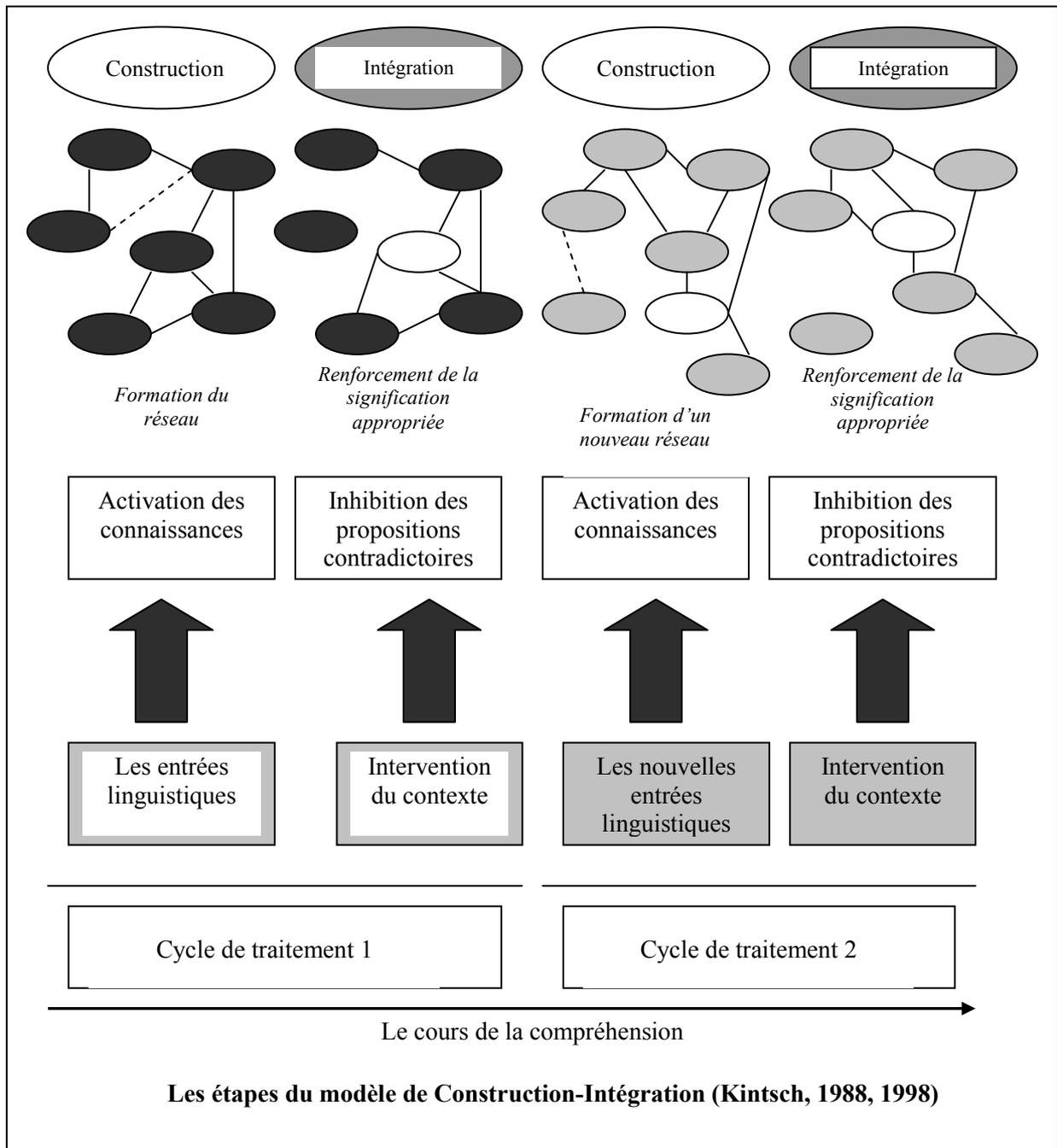


Illustration 2.10 : Les étapes du modèle de Construction-Intégration de Kintsch (Blanc et Brouillet : 2003).

2.4. L'intervention des connaissances du lecteur au cours du processus de compréhension de textes

Cette section vise un double objectif. Il s'agit d'une part, de rappeler l'importance des connaissances du lecteur dans l'évolution du modèle proposé par Kintsch et d'autre part, d'éclairer le lecteur sur la position largement admise des chercheurs quant à l'importance des connaissances de nature schématique.

2.4.1.Rappel

Dès le début, Kintsch accorde une importance particulière aux connaissances du lecteur lorsqu'un processus de compréhension est mis en œuvre. En 1978, le processus de compréhension aboutit à la construction d'un réseau propositionnel qui s'appuie sur la structure sémantique des textes à lire. Ce réseau propositionnel, par définition, doit être cohérent localement et globalement. Au niveau local, l'intervention des connaissances est nécessaire pour combler des « trous sémantiques » en effectuant des inférences « passerelles ». Au niveau global, la construction de macropropositions est indispensable. Elle s'effectue à travers la mise en œuvre d'opérations telles que la suppression, la construction ou encore la généralisation. Cette fois encore, les connaissances du lecteur sont essentielles.

En 1983, insiste à nouveau sur la contribution des connaissances du lecteur quant à une compréhension réussie d'un discours. Cependant, Kintsch ne résume pas le processus de compréhension à l'activation et à l'instanciation des schémas. Pour cet auteur, le processus de compréhension est beaucoup plus complexe puisque les schémas sont très stéréotypés et les textes contiennent des éléments nouveaux à chaque fois. Les schémas sont nécessaires à la compréhension mais pas suffisants. Les expériences vécues par les lecteurs

interviennent fortement et il introduit un ultime niveau dans le produit final de la compréhension : le modèle de situation.

En 1988, l'importance des connaissances est encore plus affirmée. S'il existe une interaction entre les informations provenant du texte (source externe au sujet) et les informations provenant du sujet lui-même (source interne), il était admis que l'intervention des connaissances était considérée comme l'importation d'éléments à la représentation. Kintsch défend aujourd'hui un point de vue différent puisqu'il s'agit davantage de l'inscription de la représentation dans le réseau de connaissances du lecteur.

2.4.2. Importance des schémas de connaissances

Du point de vue de la psychologie, le processus de compréhension consiste à élaborer une représentation du contenu d'un texte. Il est admis que l'élaboration de cette représentation mobilise deux sources principales d'informations : le texte et les connaissances du sujet.

Les connaissances du sujet sont nombreuses : lexicale, syntaxique ou encore conceptuelle. Pour ces dernières, les chercheurs admettent l'existence d'entités cognitives dont l'une des fonctions est d'organiser, de regrouper des connaissances plus parcellaires. Ces blocs de connaissances sont communément connus sous le terme de schéma.

L'existence de schémas de connaissances en mémoire à long terme est essentielle car l'activation de ces dernières va rendre efficace les différents processus de traitement.

L'activation des schémas de connaissances va faciliter la prise en compte des éléments importants du texte ainsi que leur coordination. Elle va permettre également de produire des inférences de façon efficace en réduisant les possibilités offertes par les textes. Elle va contribuer également, par conséquent, à ne pas surcharger la mémoire de travail.

Chapitre 3 : La compréhension des énoncés arithmétiques simples

C'est au début des années 1980 que commence la collaboration entre Kintsch et Greeno. Ils s'associent dans le but de proposer un modèle de la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques combinant le modèle général de la compréhension de textes proposé par Van Dijk et Kintsch en 1983 et le modèle de la résolution problèmes additifs proposé par Riley, Greeno et Heller également en 1983. Cette collaboration aboutira, entre autres, à la rédaction d'un article en 1985 qui est essentiel à la conduite de nos travaux.

Nous allons, dans un premier temps, nous intéressés aux travaux de Greeno et de ses collaborateurs (1983) pour ensuite revenir plus en détail sur le modèle proposé par Greeno et Kintsch (1985). Enfin, nous nous intéresserons plus particulièrement au modèle de la compréhension des énoncés problèmes proposé par Kintsch en 1988. Cette version est la plus récente et elle est plus connue sous le nom de modèle de Construction-Intégration.

3.1. Modèle de la résolution de problèmes arithmétiques proposé par Riley, Greeno et Heller

Greeno et ses collaborateurs se sont intéressés, dans un premier temps, aux différents facteurs susceptibles de rendre plus ou moins difficile la résolution de problèmes arithmétiques. Ils se sont appuyés sur des recherches antérieures et les ont synthétisées. Selon Riley, Greeno et Heller deux types de facteurs peuvent influencer les performances des élèves : des facteurs d'ordre sémantique et des facteurs globaux davantage liés à la formulation des énoncés (Riley, Greeno et Heller, 1983)

Dans un deuxième temps, ils ont élaboré un modèle de la résolution de problèmes arithmétique. Le modèle construit s'appuie sur trois ensembles de connaissances : les schémas de problèmes (problem schemata), les schémas d'action (action schemata) et enfin les connaissances stratégiques (strategic knowledge). Mais avant d'aborder ces différents éléments, il est essentiel de revenir sur la façon dont les chercheurs ont classé les problèmes arithmétiques.

3.1.1. Les types de problèmes

Les facteurs sémantiques synthétisés par Riley, Greeno et Heller (1983) concernent les connaissances conceptuelles relatives aux accroissements, aux diminutions, aux combinaisons et aux comparaisons d'ensembles d'éléments

L'ensemble des chercheurs s'accorde pour affirmer que résoudre les problèmes arithmétiques nécessite des connaissances autres que celles relatives à la capacité à effectuer correctement les additions et les soustractions. Les difficultés à résoudre des problèmes arithmétiques sont davantage liées aux connaissances conceptuelles précédemment citées qu'à la maîtrise des différentes opérations.

Ces connaissances conceptuelles sont associées aux types de problèmes. Les chercheurs ont classé les problèmes selon 4 types : les problèmes de type Changement, les problèmes de type Combinaison, les problèmes de type

Comparaison et enfin les problèmes de type Egalisation. Greeno et ses collaborateurs proposent un tableau récapitulatif de ces différents types de problèmes en y joignant pour chacun d'eux des exemples précis d'énoncés ainsi que les taux de réussite correspondant en fonction du niveau scolaire.

Le tableau proposé ci-dessous a été élaboré par Riley en 1981. La classification a été établie entre autres à partir de performances obtenues par des élèves. Les auteurs se sont appuyés en particulier sur les taux de réussite qui ont été différents chez des sujets de même âge et décalées dans le temps en fonction de la difficulté relative (Fayol, 1990)

Cette classification n'est pas la seule puisque Vergnaud (1982) en propose une également. Cependant celle de Riley est annoncée comme la plus connue et la plus utilisée (Bideaud, Lehalle et Vilette, 2004).

<i>Types de problèmes</i>	<i>Mat</i>	<i>CP</i>	<i>CE1</i>	<i>CE2</i>
<u><i>Changement</i></u>				
1. Joe avait 3 billes. Puis Tom lui a donné 5 billes. Combien de billes a maintenant Joe ?	.87	1.00	1.00	1.00
2. Joe avait 8 billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Combien de billes a maintenant Joe ?	1.00	1.00	1.00	1.00
3. Joe avait 3 billes. Tom lui en a donné. Joe a maintenant 8 billes. Combien de billes Tom a-t-il donné à Joe ?	.61	.56	1.00	1.00
4. Joe avait 8 billes. Il en a donné à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien a-t-il donné de billes à Tom ?	.91	.78	1.00	1.00
5. Joe avait des billes. Tom lui en a donné 5 de plus. Maintenant Joe a 8 billes. Combien de billes Joe avait-il au début?	.09	.28	.80	.95
6. Joe avait des billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien de billes Joe avait-il au début ?	.22	.39	.70	.80
<u><i>Combinaison</i></u>				
7. Joe a 3 billes. Tom a 5 billes. Combien Joe et Tom ont-ils de billes ensemble ?	1.00	1.00	1.00	1.00
8. Joe et Tom ont ensemble 8 billes. Joe a 3 billes. Combien Tom a-t-il de billes ?	.22	.39	.70	1.00
<u><i>Comparaison</i></u>				
9. Joe a 8 billes. Tom a 5 billes. Combien Joe a-t-il de billes de plus que Tom ?	.17	.28	.85	1.00
10. Joe a 8 billes. Tom a 5 billes. Combien Tom a-t-il de billes de moins que Joe ?	.04	.22	.75	1.00
11. Joe a 3 billes. Tom a 5 billes de plus que Joe. Combien Tom a-t-il de billes?	.13	.17	.80	1.00
12. Joe a 8 billes. Tom a 5 billes de moins que Joe. Combien Tom a-t-il de billes ?	.17	.28	.90	.95
13. Joe a 8 billes. Il a 5 billes de plus que Tom. Combien Tom a-t-il de billes ?	.17	.11	.65	.75
14. Joe a 3 billes. Il a 5 billes de moins que Tom. Combien Tom a-t-il de billes ?	.00	.06	.35	.75

Tableau 3.1 : Types de problèmes et taux de réussite en fonction du niveau scolaire (Riley, Greeno et Heller, 1983)

3.1.1.1. Les problèmes de type Changement

Ils impliquent une dimension temporelle dans le sens où il existe un état initial qui va être transformé suite à un événement. Cette transformation peut être positive ou négative et fait passer un état initial à un état final. Ce type de problèmes engendre trois sous-catégories de problèmes selon que l'inconnu est l'état initial, la transformation ou l'état final.

Le tableau ci-dessous résume les problèmes de type changement en fonction de l'inconnu et de la transformation.

	Recherche de l'état final	Recherche de la transformation	Recherche de l'état initial
Transformation positive	<p><u>Changement 1</u></p> <p>Joe avait 3 billes. Puis Tom lui a donné 5 billes. Combien de billes a maintenant Joe ?</p> <p>Calcul numérique addition</p>	<p><u>Changement 3</u></p> <p>Joe avait 3 billes. Tom lui en a donné. Joe a maintenant 8 billes. Combien de billes Tom a-t-il donné à Joe ?</p> <p>Calcul numérique soustraction</p>	<p><u>Changement 5</u></p> <p>Joe avait des billes. Tom lui en a donné 5 de plus. Maintenant Joe a 8 billes. Combien de billes Joe avait-il au début ?</p> <p>Calcul numérique soustraction</p>
Transformation négative	<p><u>Changement 2</u></p> <p>Joe avait 8 billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Combien de billes a maintenant Joe ?</p> <p>Calcul numérique soustraction</p>	<p><u>Changement 4</u></p> <p>Joe avait 8 billes. Il en a donné à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien a-t-il donné de billes à Tom ?</p> <p>Calcul numérique soustraction</p>	<p><u>Changement 6</u></p> <p>Joe avait des billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien de billes Joe avait-il au début ?</p> <p>Calcul numérique addition</p>

Tableau 3.2 : Les différentes situations possibles relatives aux problèmes de type Changement.

Les résultats donnés par Riley et *al.* montrent que les difficultés rencontrées par les élèves proviennent davantage de la nature de l'inconnu que de l'opération à utiliser pour trouver le résultat.

En effet, la recherche de l'état final ne pose jamais de difficultés aux enfants puisque même ceux de l'école maternelle réussissent les problèmes

(Changement 1 et 2) alors même l'opération à utiliser est une soustraction (changement 2).

La recherche de l'état initial pose par contre beaucoup de difficultés aux élèves. Et elles persistent toujours pour les élèves de CE2 (Changement 5 et 6) malgré l'utilisation de l'addition (changement 6).

3.1.1.2. Les problèmes de type Combinaison.

Une analyse similaire peut être faite relativement à ces problèmes. Ils concernent des situations statiques et non des transformations. Ces problèmes sont classés en deux sous-catégories selon que l'inconnu est relatif au TOUT ou à l'une des PARTIES.

Lorsqu'il s'agit de trouver le TOUT, tous les élèves réussissent (Combinaison 7). Par contre, la recherche de l'une des PARTIES connaissant le tout et l'autre partie semble être encore un écueil pour beaucoup d'élèves de CE1 (Combinaison 8).

Des auteurs expliquent ces performances plus faibles au problème Combinaison 8 par la difficulté des élèves à identifier ce qui relève du tout, ce qui relève de la partie et à considérer l'une comme emboîtée dans l'autre (Gamo, 2001).

3.1.1.3. Les problèmes de type Comparaison

Il s'agit de comparer des quantités statiques présentées à l'aide de formules du type « plus de/moins de ».

Pour les deux premiers problèmes du type Comparaison (Comparaison 9 et 10), l'inconnu concerne la différence entre les deux quantités. L'ensemble auquel l'autre ensemble est comparé est appelé l'ensemble référent (referent set) et l'autre ensemble est appelé l'ensemble comparé (compared set). Selon la question, l'ensemble référent et l'ensemble comparé ne sont pas les mêmes.

Pour les quatre autres problèmes (Comparaison 11, 12, 13 et 14), l'inconnu ne concerne pas la différence mais le deuxième ensemble c'est-à-dire les billes que possède Tom.

Les résultats laissent à penser que les problèmes de type Comparaison présentent un niveau de difficulté très supérieur à celui relevé dans les deux autres types de problèmes. De plus la nature de la comparaison (plus que/moins que) et celle de l'inconnu (la différence ou la quantité de billes que possède Tom) ne semblent pas être la cause des difficultés. Il s'agit davantage de l'organisation sous-jacente qui relève plutôt de l'inclusion selon Fayol (1990).

Ces quatre types de problèmes peuvent se regrouper d'une autre façon selon qu'ils concernent des relations statiques entre les quantités ou des transformations. Les problèmes de types Changement et Egalisation s'organisent autour d'une transformation tandis que les problèmes de types Combinaison et Comparaison sont relatifs à des relations statiques entre les quantités.

3.1.2. Les trois ensembles de connaissances du modèle

L'objectif de Greeno, Riley et Heller en 1983 est de proposer un programme informatique capable de résoudre des problèmes arithmétiques des différents types c'est-à-dire Changement, Combinaison, Comparaison et Egalisation. Le modèle qu'ils ont élaboré s'appuie sur trois ensembles de connaissances comme nous le disions précédemment : les schémas de problèmes (problem schemata), les schémas d'actions (action schemata) et enfin les connaissances stratégiques (strategic knowledge).

3.1.2.1. Les schémas de problèmes

Greeno *et al.* (1983) se sont inspirés des travaux de Rumelhart ou encore de Schank et Abelson et ont adopté, eux aussi, la notion de schéma. Ils acceptent l'existence de structures cognitives spécifiques dont les fonctions principales sont d'une part, d'organiser l'information contenue dans une phrase ou un texte

et d'autre part, d'inclure dans la représentation des éléments non explicitement mentionnés dans l'énoncé afin de la rendre plus cohérente et complète.

Pour Greeno *et al.* (1983), le processus de compréhension d'un énoncé de problème aboutit à la construction d'une structure cognitive de nature schématique qu'il s'agit de remplir avec les éléments contenus dans l'énoncé. Elle a la forme d'un réseau sémantique (semantic network structures) constitué d'éléments et de leurs relations. Ces structures cognitives sont au nombre de 3. Chaque type de problèmes est associé à un schéma de problèmes (Riley, Greeno et Heller, 1983). Ils proposent une illustration du schéma de problème relatif au problème 2 de type changement.

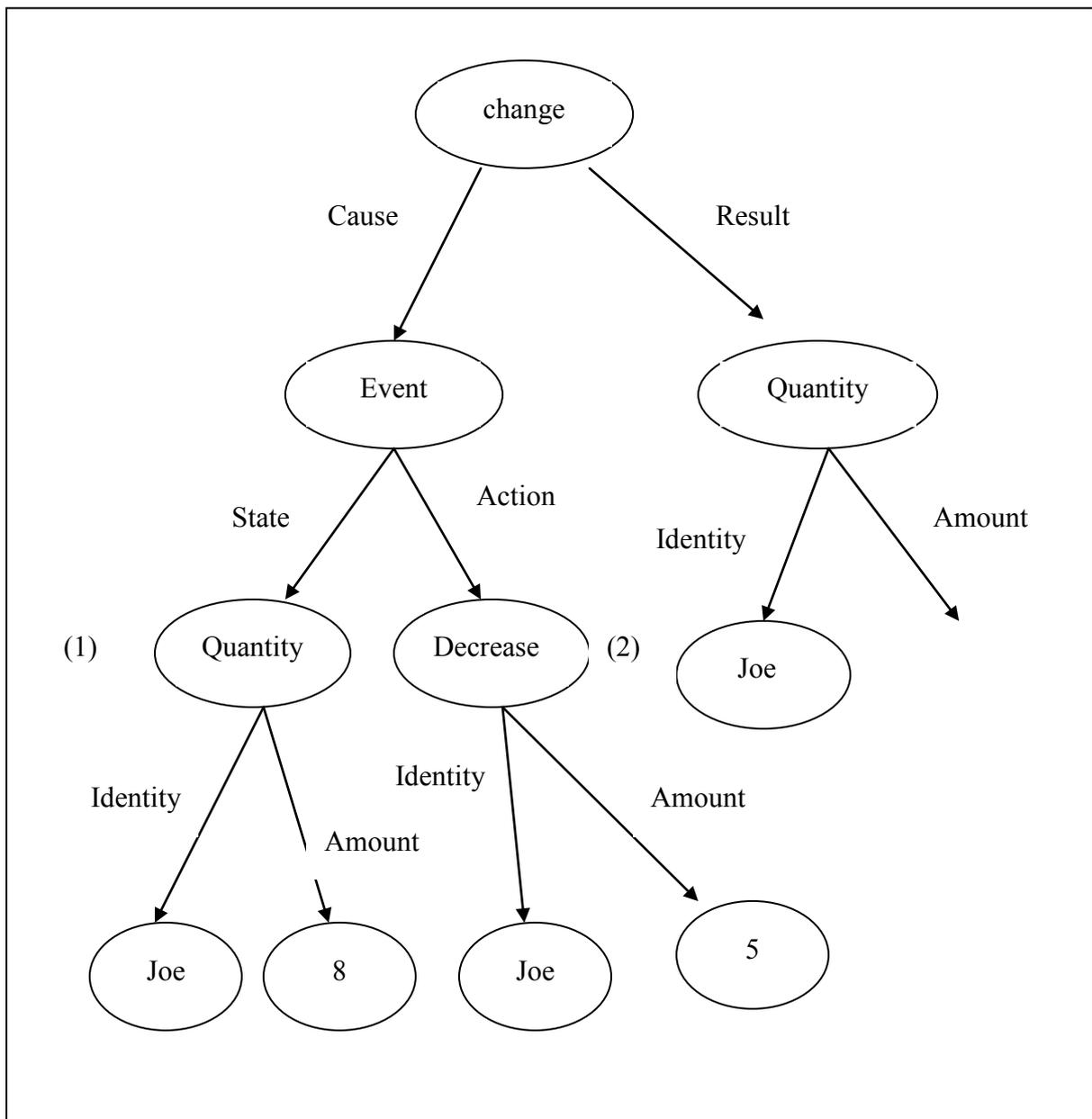


Illustration 3.3 : Formalisation du produit final du processus de compréhension du problème type Changement (Riley, Greeno et Heller, 1983).

Le schéma cognitif particularisé, associé à cette figuration, est le résultat du processus de compréhension. Les *ensembles de départ* (1), *transfert* (2) et *résultat* (3) sont les trois éléments principaux. Les deux premiers ensembles sont mis en relation à travers la survenue d'un événement qui va aboutir à la modification de l'état de *l'ensemble de départ*. Cette modification est imposée par la présence d'une action qui peut conduire à une augmentation ou à une diminution de la quantité initiale de *l'ensemble de départ*. Enfin, ces différents

éléments précédemment cités sont mis en relation avec *l'ensemble résultat* à travers des nœuds spécifiques aux différents schémas de problèmes.

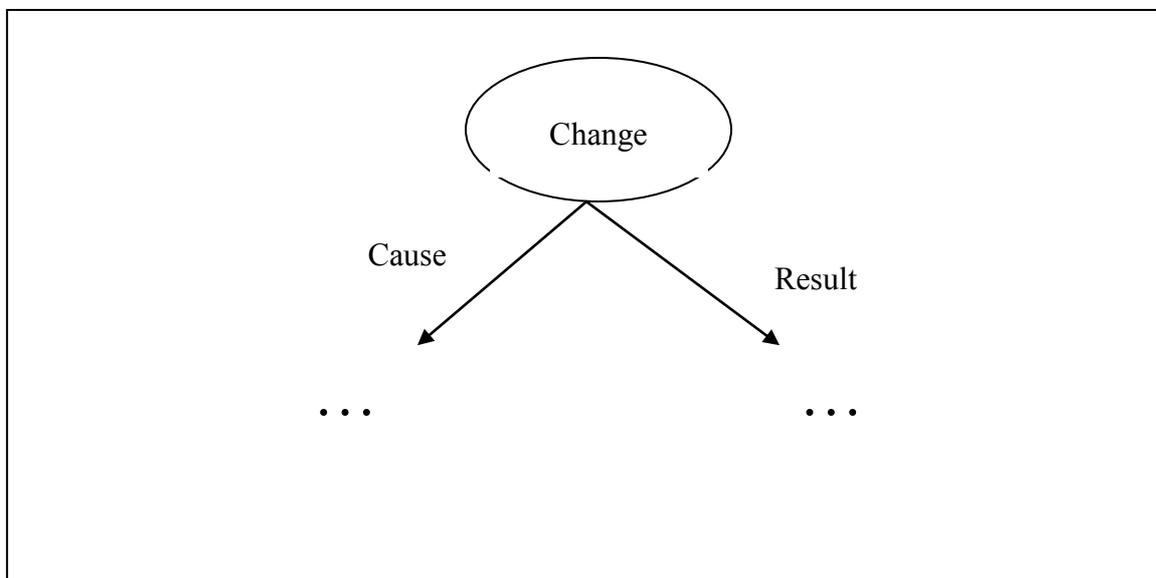


Illustration 3.4 : Éléments se situant au sommet du produit final (Riley, Greeno et Heller, 1983).

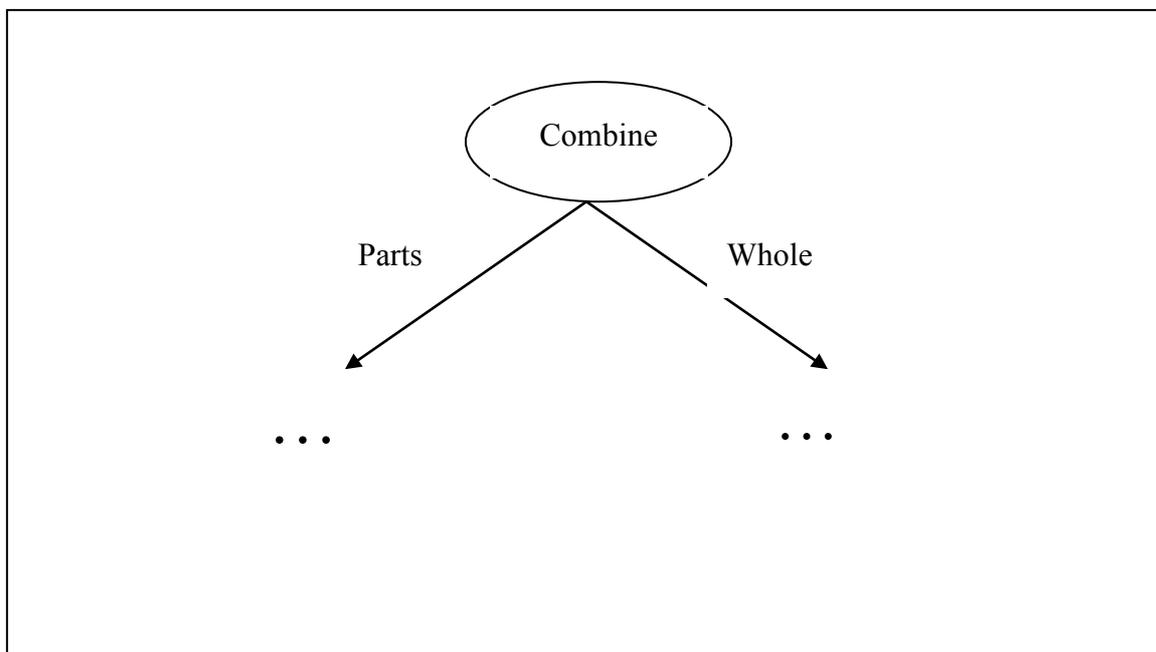


Illustration 3.5 : Éléments se situant au sommet du schéma de problèmes de type Combinaison (Riley, Greeno et Heller, 1983).

3.1.2.2. Les schémas d'actions

Le processus de compréhension d'un énoncé de problème arithmétique aboutit à l'élaboration d'une représentation qui prend la forme d'un schéma de problème particularisé. D'une manière ou d'une autre, cette représentation qui est le résultat du processus de compréhension, doit être associée à une ou des procédures de résolution. De telles associations se font par l'intermédiaire d'autres schémas : les schémas d'actions. Greeno *et al.* (1983) proposent différents schémas d'actions :

CONSTRUIRE-ENSEMBLE (MAKE-SET)

AJOUTER (PUT-IN)

ENLEVER (TAKE-OUT)

COMPTEUR-TOUT (COUNT-ALL)

Le schéma d'action CONSTRUIRE-ENSEMBLE lorsqu'il est activé aboutit à la construction d'un ensemble X avec une certaine quantité N. Par exemple MAKE-SET (Joe, 8) a pour résultat la construction d'un ensemble de 8 objets appartenant à Joe.

Le schéma d'action AJOUTER lorsqu'il est activé aboutit à l'ajout d'une certaine quantité d'objets à un ensemble déjà existant. Par exemple PUT-IN (X, N) a pour résultat l'ajout de N objets dans un ensemble X contenant déjà M objets.

Le schéma d'action ENLEVER lorsqu'il est activé aboutit à la suppression d'un certain nombre d'objets à un ensemble déjà existant. Par exemple TAKE-OUT (X, N) a pour résultat la suppression de N objets dans un ensemble X contenant déjà M objets.

Le schéma d'action COMPTEUR-TOUT, lorsqu'il est activé, aboutit au comptage de l'ensemble des éléments de l'ensemble considéré. Ce schéma d'action se rapproche de certaines stratégies de comptage rapportées par

Bideaud *et al.* (2004) et qui consiste à recompter le tout. Par exemple si on demande à un enfant de déterminer le résultat d'un ajout de 2 jetons à une collection qui en comprend initialement 4. L'enfant va commencer par dénombrer 4 jetons, puis il ajoute 2 jetons et enfin il se met à recompter le tout. Bideaud *et al.* rappellent que l'équivalent anglais de cette stratégie est counting-all.

D'autres schémas d'actions existent. Ils ne sont pas tous mentionnés. Riley *et al.* (1983) précisent également que ces schémas d'actions sont organisés à différents niveaux puisque certains d'entre eux sont composés d'autres schémas d'actions. C'est le cas du schéma d'action COMPARE qui nécessite l'activation du schéma d'action MAKE-SET par exemple.

Les connaissances stratégiques

Le processus de compréhension aboutit à la particularisation d'un schéma de problème. La solution au problème nécessite l'activation de différents schémas d'actions. Les schémas d'actions sont associés aux connaissances stratégiques car ce sont elles qui permettent la planification des différents schémas d'actions pour arriver à la solution. Autrement dit ces connaissances stratégiques concernent les connaissances relatives à la planification. Elles sont vues comme des règles de production (production rules). Une règle de production est de la forme :

Condition \longrightarrow Action

C'est une proposition du type : « Si cette condition est satisfaite, alors cette action est appropriée. »

Elles sont organisées de telle sorte que la planification soit descendante (top-down planing). Une fois qu'un plan est sélectionné, le modèle essaie de trouver les actions qui lui sont associées. Les schémas d'actions sont activés à partir des conditions d'activation contenues dans l'énoncé. Si les conditions d'exécution des différentes actions sont satisfaites alors le plan est exécuté. Si

tel n'est pas le cas, il est nécessaire de construire les conditions d'exécution du plan. Avant d'atteindre le but général du problème il est nécessaire d'atteindre des sous-buts au préalable. Le but général est gardé en mémoire et sera récupéré une fois les sous-buts atteints.

Nous proposons ci-dessous la façon dont s'articulent les différents éléments du modèle proposé par Riley *et al.*

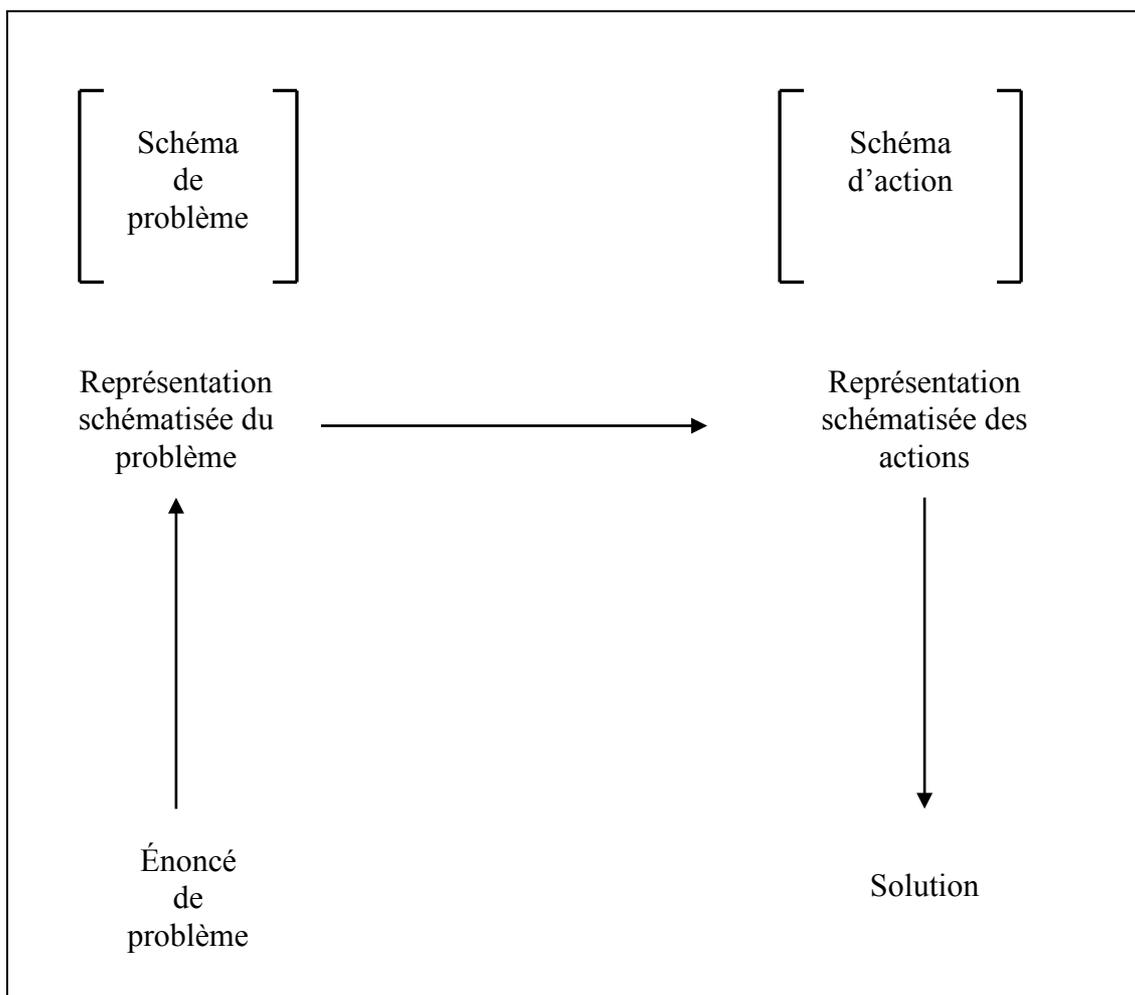


Illustration 3.6 : Les étapes pour parvenir à la solution d'un problème arithmétique à partir de son énoncé (Riley, Greeno, Heller, 1983).

La résolution d'un problème par le modèle commence par le processus de compréhension qui aboutit à une représentation schématisée. Ensuite, le modèle planifie les procédures et utilise les schémas d'actions pour générer une solution.

3.1.3. Modèles de résolution et développement conceptuel

Les schémas de problèmes, les schémas d'action et enfin les connaissances stratégiques sont les trois éléments clés du modèle. Cependant, il est plus judicieux de parler des modèles puisque les auteurs en proposent trois. Ces différents modèles ont été proposés à partir des performances des élèves de différents niveaux. Ces performances sont détaillées dans le tableau suivant :

Problèmes de type changement	Performances		
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Joe avait 3 billes. Puis Tom lui a donné 5 billes. Combien de billes a maintenant Joe ?	+	+	+
Joe avait 8 billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Combien de billes a maintenant Joe ?	+	+	+
Joe avait 3 billes. Tom lui en a donné. Joe a maintenant 8 billes. Combien de billes Tom a-t-il donné à Joe ?	« 8 »	+	+
Joe avait 8 billes. Il en a donné à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien a-t-il donné de billes à Tom ?	+	+	+
Joe avait des billes. Tom lui en a donné 5 de plus. Maintenant Joe a 8 billes. Combien de billes Joe avait-il au début ?	« 5 »	« 5 »	+
Joe avait des billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Maintenant Joe a 3 billes. Combien de billes Joe avait-il au début ?	PR	PR	+

Illustration 3.7 : Tableau récapitulatif des performances des enfants aux les problèmes de type changement (Riley, Greeno, Heller, 1983).

Le symbole « + » signifie que les élèves ont répondu correctement au problème. « PR » signifie qu'ils n'ont pas donné de réponse. Et enfin, les nombres « 8 » et « 5 » sont les réponses erronées les plus souvent répertoriées données par les élèves pour ces problèmes.

Ces problèmes arithmétiques ont été proposés aux élèves de maternelle, de CP, de CE1 et de CE2 (kindergarten, grade 1, grade 2 et grade 3) en adaptant les différentes situations. Ainsi, d'après le tableau ci-dessus, un élève qui est du niveau 1 a répondu correctement aux problèmes 1, 2 et 4. Il a donné respectivement les réponses « 8 » et « 5 » aux problèmes 3 et 5. Et enfin, il n'a pas donné de réponse au problème 6.

Les auteurs ont proposé trois modèles dont la simulation par ordinateur fournit des réponses proches de ceux proposées par les élèves. La différence essentielle entre les trois modèles proposés tient à la qualité, à la richesse des schémas de problèmes. Ils permettent en effet, la création des ensembles décrits dans les énoncés mais aussi et surtout leur mise en relation. Plus le modèle est sophistiqué et plus les réponses proposées sont correctes. Le modèle 1 est moins riche que le modèle 2 qui est, lui-même, moins riche que le modèle 3.

3.1.3.1. Niveau 1 du modèle

Le schéma de problème du modèle 1 est réduit à la partie permettant la création de l'ensemble de départ. Avec seulement cet élément, les problèmes 1, 2 et 4 peuvent être résolus. En revanche, cet élément seul ne permet pas de trouver les réponses correctes aux problèmes 3, 5 et 6. Riley, Greeno et Heller décrivent précisément les raisons conduisant d'une part à une résolution réussie du problème 4 et d'autre part à une résolution non réussie du problème 3.

Le problème 4 nécessite la réduction de l'ensemble de billes détenues par Joe. La difficulté réside dans le fait que la quantité à enlever n'est pas connue. La lecture ou l'écoute de la première phrase conduit à la création d'un ensemble composé de 8 billes appartenant à Joe. La deuxième phrase ne contient aucune information d'ordre quantitatif. Le modèle ne fait donc rien. La lecture ou l'écoute de la troisième phrase conduit à créer physiquement les ensembles *transfert* et *résultat*. Ces deux ensembles sont bien distincts. Lorsque la question

est posée, le modèle peut proposer la réponse correcte aisément puisqu'elle est directement présente visuellement.

La différence essentielle entre les problèmes 3 et 4 réside dans le fait que les ensembles *transfert* et *résultat* ne sont pas distincts. La lecture ou l'écoute de la première phrase du problème 3 conduit à la création d'un ensemble de 3 billes appartenant à Joe. La deuxième phrase conduit normalement à l'addition d'un certain nombre de billes. Cependant, la quantité étant inconnue, il n'y a donc pas de modification de la représentation. La lecture de la troisième phrase conduit à la création d'un ensemble composé de 8 billes. Le modèle continue à ajouter des billes au premier ensemble construit jusqu'à obtenir les 8 billes. La question est interprétée alors comme une question demandant le nombre de billes de cet ensemble construit. La réponse est donc 8. Selon les auteurs, la difficulté des enfants à résoudre ce problème 3 réside dans leur difficulté à se représenter séparément les ensembles de *départ* et de *transfert*.

3.1.3.2. Niveau 2 du modèle

Le modèle 2 est plus riche que le modèle 1 car, outre la possibilité de créer les ensembles, il est capable de construire une partie de la structure relationnelle autour de laquelle s'organisent les différents ensembles. La construction de cette structure relationnelle permet donc la manipulation partielle de ces ensembles. En effet, alors que le modèle 1 se contente de créer un ensemble de 8 billes appartenant à Joe à la lecture de la troisième phrase du problème 3 en en ajoutant jusqu'à obtenir la quantité voulue, le modèle 2 est capable d'identifier cet ensemble de 8 billes comme étant *l'ensemble résultat* qui a été obtenu par l'ajout d'un certain nombre de billes à *l'ensemble de départ* qui en contenait 3. Ainsi, lorsque la question est traitée, il est capable de trouver le résultat en supprimant trois billes à cet ensemble.

Le modèle 2, bien que plus riche, ne permet pas encore la résolution du problème 5. La résolution de ce problème nécessite un traitement davantage descendant (top-down) et il n'est pas encore disponible dans ce modèle intermédiaire selon les auteurs. Ainsi, il n'y a pas la création de *l'ensemble de départ* lorsque la première phrase est lue car la quantité est inconnue. Le traitement de la deuxième phrase conduit à la création d'un ensemble de 5 billes appartenant à Joe. Cet ensemble ainsi construit n'est pas considéré comme *l'ensemble transfert* qui traduit la survenue d'un changement dans l'ensemble initial. Il est interprété comme *l'ensemble de départ*. Ensuite, lorsque la troisième phrase est traitée, le modèle crée un ensemble de 8 billes en ajoutant à l'ensemble de 5 billes appartenant à Joe. Finalement lorsque survient la question, l'ensemble-transfert, considéré par erreur comme étant l'ensemble de départ, contient 5 billes. C'est la raison pour laquelle la réponse donnée est 5.

3.1.3.3. Niveau 3 du modèle

Le modèle 3 est le plus riche et le schéma de problèmes dont il dispose permet de maintenir en mémoire la structure relationnelle globale des différents ensembles décrits dans l'énoncé même si l'ensemble de départ est associé à une quantité inconnue d'éléments. Cette trace en mémoire permet en particulier de considérer l'ensemble de billes appartenant à Joe, de quantité inconnue, comme étant *l'ensemble de départ*, contrairement au modèle 2.

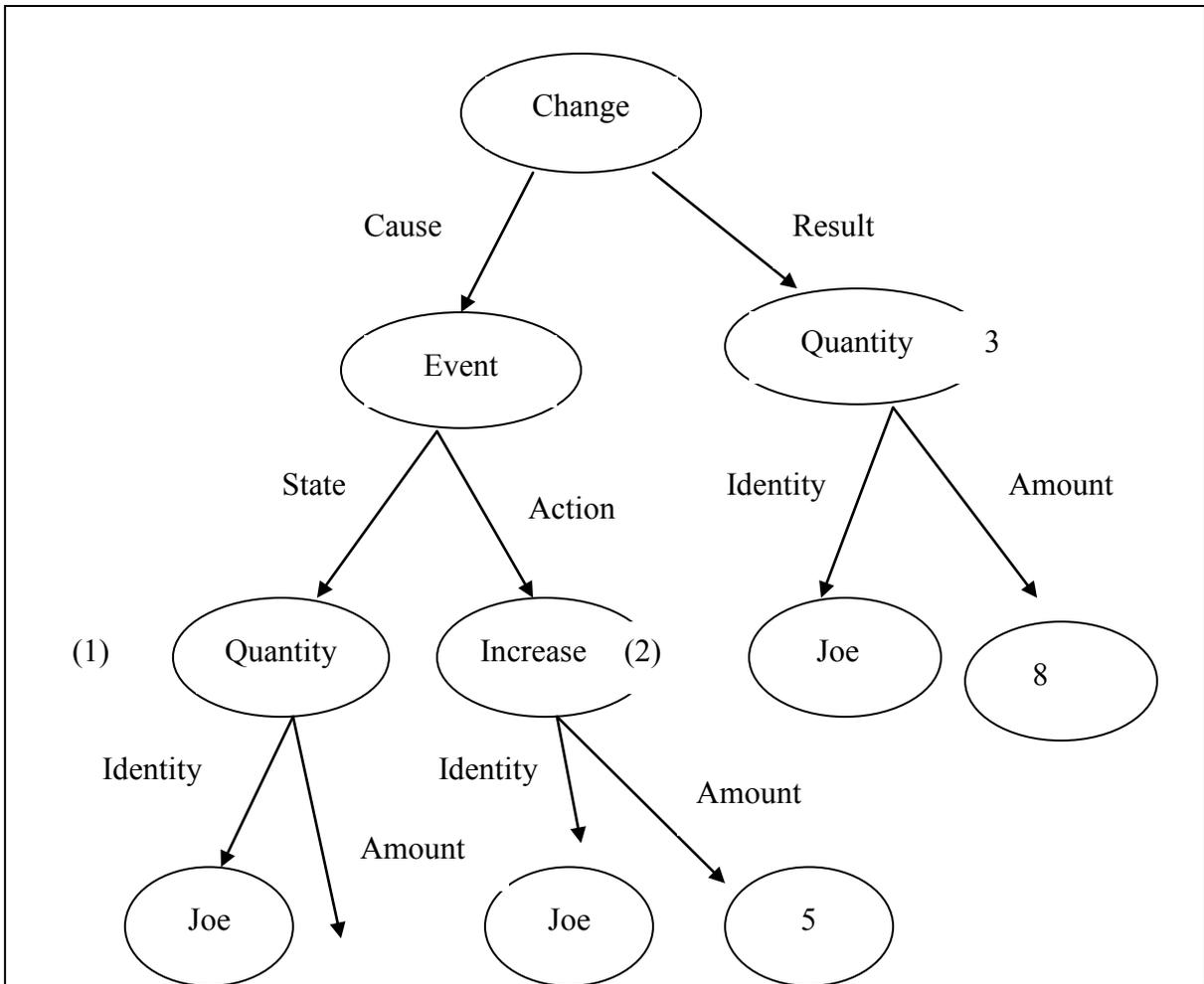


Illustration 3.8 :Schéma conceptuel associé au problème 5 de type Changement (Riley, Greeno et Heller, 1983).

3.2. Modèle de la compréhension des énoncés de problèmes proposé par Kintsch et Greeno.

Comme cela a été dit en introduction de ce chapitre, ces deux auteurs se sont associés en 1982 et ont proposé un modèle de résolution de problèmes combinant le modèle de Kintsch et van Dijk relative à la compréhension de textes (1978) et celui de Greeno *et al.* relative à la résolution de problèmes (1982). Les principaux éléments de ce modèle, publiés dans un premier temps par le département de psychologie de l'université du Colorado, seront repris par Kintsch et van Dijk en 1983 avant de faire l'objet d'une publication dans *Psychological Review* en 1985.

Il s'agit d'une véritable combinaison des deux modèles précédents car celui qui est nouvellement présenté s'appuie d'une part sur les différents éléments du modèle de Kintsch comme les propositions, les niveaux de représentation, les superstructures schématiques ainsi que les stratégies de compréhension et d'autre part sur le modèle de Greeno et al. dont sont issus les éléments comme les schémas de problèmes ou encore les schémas d'actions. Il s'agit plus précisément du modèle 3 de Greeno, c'est-à-dire celui qui s'appuie sur les schémas de problèmes les plus riches.

Kintsch et Greeno conservent l'idée de l'existence d'une représentation multi-niveaux. Cependant, les structures de connaissance nécessaires à la compréhension et à la résolution des problèmes arithmétiques ainsi que les stratégies mises en œuvre pour y arriver sont, quant à elles, spécifiques (Kintsch, Greeno, 1985).

3.2.1. Spécificité de la représentation

D'une façon générale, le processus de compréhension de textes aboutit à l'élaboration d'une représentation multi-niveaux. Il en existe trois selon Kintsch et van Dijk (1983) : le niveau de surface, le niveau sémantique et le niveau

situationnel. Kintsch et Greeno (1985) insistent surtout sur les deux derniers niveaux.

Le niveau sémantique est décrit comme une structure de nature propositionnelle respectant les structures sémantiques du texte. Cette structure propositionnelle est appelée la base de texte. Elle est composée d'une microstructure et d'une macrostructure. Un certain nombre de règles et de stratégies sont mises en œuvre pour élaborer la macrostructure. Cette dernière intègre les idées essentielles du texte ou encore les macropropositions qui sont liées aux thèmes généraux abordés dans le texte.

Si nous nous intéressons encore à la spécificité du niveau sémantique de la représentation, les auteurs émettent l'hypothèse qui consiste à dire que l'implication des macro-règles dans l'élaboration de la macrostructure est minimale. Pour Kintsch et van Dijk (1983) et Kintsch et Greeno (1985), microstructure et macrostructure seraient identiques. Compte tenu de la structure même de ces textes, les lecteurs ont peu l'occasion d'utiliser les règles de suppression, de généralisation ou encore de construction (1983).

Le niveau situationnel, contrairement à la base de texte, est détaché du texte, détaché de la façon dont les idées sont formulées. De plus, elle s'appuie sur les expériences vécues par le lecteur et tient compte également de ce qu'évoque le texte pour lui. Ce niveau de représentation est beaucoup plus riche, beaucoup plus stable et contient davantage d'inférences que le niveau précédent.

Il ne faut pas perdre de vue cependant que les énoncés de problèmes sont des textes spécifiques. En effet, ils sont courts et contiennent toutes les informations nécessaires à la tâche. De plus, ces informations sont proposées sans redondance. Ensuite, ils intègrent également, de façon systématique, des informations numériques qui sont associées d'une part à des objets et d'autre part à certains termes spécifiques comme les verbes d'actions par exemple. Ces énoncés mettent en jeu des connaissances conceptuelles relatives aux

accroissements, aux diminutions, aux combinaisons et aux comparaisons d'ensembles. Enfin, la lecture de ces textes est orientée vers une tâche spécifique de résolution de problèmes.

Le modèle de situation et la base de texte, élaborés lors du processus de compréhension des énoncés, seraient donc spécifiques. D'ailleurs, du point de vue de la terminologie, les auteurs adoptent l'appellation « modèle de problème » lorsqu'ils parlent de modèle de situation relatif à un énoncé de problème (Kintsch et Greeno, 1985).

La spécificité de la représentation, nous le disions, tient aussi au fait qu'elle nécessite l'activation de connaissances de nature spécifique. Ces connaissances arithmétiques sont de nature schématique. Il s'agit, entre autres, des schémas d'ensembles et des schémas de problèmes. D'ailleurs, la spécificité des modèles de problèmes vient du fait qu'ils s'articulent autour des schémas de problèmes.

3.2.2. Connaissances de nature schématique

Les connaissances mises en œuvre lors de la compréhension des énoncés de problèmes mais aussi lors de leur résolution sont de nature schématique. Kintsch et Greeno insistent sur trois structures de connaissances : les « frames propositionnelles », les schémas d'ensembles et enfin les superstructures schématiques.

3.2.2.1. « Frames propositionnelles »

Ces structures de connaissances sont nécessaires pour traduire, découper les phrases des énoncés en propositions. Ce sont d'ailleurs ces propositions, une fois extraites, qui sont utilisées en entrée de système. De plus, chacune de ces frames propositionnelles sont associées à ce que les auteurs appellent les « meaning postulate ». Ces dernières spécifient les éléments qui intègrent le niveau situationnel de la représentation. En général, ce sont les arguments des différentes propositions construites.

Il existe cinq « frames propositionnelles » selon Kintsch et Greeno : « Existential », « Quantity », « Possession », « Compare » et « Time ».

La première des « frame propositionnelle » est nécessaire pour traduire le fait qu'il existe dans l'énoncé des personnages. Ils sont désignés par des noms propres. Sa mise en œuvre aboutit à la proposition « x=Joe » par exemple. Au niveau situationnel, seul le nom propre remplit une case vide du schéma d'ensemble.

La deuxième « frame propositionnelle » est nécessaire pour traduire le fait qu'il existe dans l'énoncé certaines valeurs numériques ou des expressions qui sont associées à des noms communs. Sa mise en œuvre aboutit à l'une des propositions suivantes : NOMBRE (NOM COMMUN), QUELQUES (NOM COMMUN) ou COMBIEN (NOM COMMUN). Au niveau situationnel, la dernière proposition donnée permet de remplir les cases Objet et Quantité du schéma d'ensemble par respectivement les éléments suivants : un nom commun spécifique et but. Cela signifie que la quantité est à trouver, à calculer.

La troisième « frame propositionnelle » est nécessaire pour traduire le fait qu'il existe dans l'énoncé un des personnages qui possède une certaine quantité d'objets, qu'il reçoit une certaine quantité d'objets en plus de ce qu'il a déjà, qu'il donne à quelqu'un d'autre une partie de ses objets ou encore que deux personnages ont ensemble un certain nombre d'objets. La traduction propositionnelle de ces phrases se fait de la façon suivante : AVOIR [x, P(Quan)], DONNER [x, x, P(Quan)] ou AVOIR-ENSEMBLE [x, x, P(Quan)]. Cette dernière proposition par exemple se traduit au niveau situationnel par un identificateur de possession qui est la conjonction de deux nom propres.

La quatrième « frame propositionnelle » est nécessaire pour traduire les phrases telles que « Tom a trois billes de plus/de moins que Joe. » ou

encore « Combien de billes Joe a-t-il de plus que Tom ? ». Sa mise en œuvre aboutit à l'une des propositions suivantes :

AVOIR PLUS QUE [xi, xj, P(Quan)]
AVOIR MOINS QUE [xi, xj, P(Quan)]

La dernière « frame propositionnelle » est relative aux différents moments rencontrés dans un énoncé ; en particulier dans les problèmes de type Changement. La traduction propositionnelle de ces différents éléments d'ordre temporel aboutit aux propositions suivantes :

PASSE(P)
DEBUT(P)
ENSUITE(Pi, Pj)
MAINTENANT(P)

Dans les quatre propositions précédentes, P est une proposition.

3.2.2.2. Schéma d'ensemble

Le schéma d'ensemble est défini par quatre variables (slots) : type d'objet (object), Quantité (Quantity), Identificateur (Spécification) et Statut (Role). Ces différentes variables n'ont pas la même importance. Quantité et statut sont les deux variables essentielles selon les auteurs (Kintsch, 1983).

Le schéma d'ensemble se présente de la façon suivante :

Variable	Valeurs possibles pour la variable
<ul style="list-style-type: none"> Type d'objet (object) 	Un nom commun spécifiant l'objet dont on parle.
<ul style="list-style-type: none"> Quantité (quantity) 	Un nombre ou une expression comme quelques-uns (some), combien (how many)
<ul style="list-style-type: none"> Identificateur (spécification) 	Indication du possesseur (owner) ou indication du lieu (place) ou indication du temps (time)
<ul style="list-style-type: none"> Statut (role) 	Ce schéma d'ensemble ainsi construit s'intégrera à un schéma d'un niveau supérieur. Le statut concerne la place qu'occupera cet ensemble dans le schéma plus général : ensemble de départ, ensemble transfert, ensemble résultat, partie, tout...

Illustration 3.9 : Schéma d'ensemble (Kintsch et Greeno, 1985).

Ces schémas d'ensembles sont des éléments fondamentaux de la représentation et à ce titre appartiennent aux deux niveaux c'est-à-dire à la base de texte et au modèle de situation. Cependant, la nature des valeurs possibles n'est pas la même selon que l'on se situe au niveau de la base de texte ou au niveau du modèle de situation. Au niveau de la base de texte, les valeurs possibles pour les variables sont des propositions qui sont déjà en mémoire. Au niveau du modèle de situation, les valeurs possibles des variables sont les arguments des propositions précédentes. Par exemple, si les propositions CINQ (BILLES) et AVOIR (JOE, CINQ (BILLES)) sont déjà traitées et stockées en mémoire alors ces mêmes propositions sont les valeurs que vont prendre les variables Objet et Identificateur dans le schéma d'ensemble de la base de texte

et les arguments CINQ et JOE vont prendre les valeurs des variables Quantité et Identificateur dans le modèle de problème (Kintsch et Greeno, 1985).

3.2.2.3. Superstructures schématiques

Les superstructures schématiques sont des schémas d'un niveau supérieur par rapport aux schémas d'ensembles dans le sens où les variables de ces superstructures sont les ensembles précédemment étudiés. Ce sont des schémas plus généraux et les problèmes étudiés par Riley *et al.*(1983) concernent des superstructures schématiques mettant en relation trois ensembles. Ces superstructures sont connues aussi sous le terme de schémas de problèmes (Richard, 1990)

Ces connaissances schématiques d'ordre supérieur font partie intégrante des représentations de problèmes, mais n'interviennent qu'au niveau du modèle de situation ou encore du modèle de problème. Kintsch et Greeno définissent trois schémas généraux : le schéma TRANSFERT, le schéma PARTIE-TOUT et enfin le schéma PLUS QUE / MOINS QUE.

Le schéma TRANSFERT

Ce schéma est nécessaire pour l'élaboration des représentations des problèmes de type Changement. Ce schéma comporte trois variables et les valeurs possibles pour ces variables sont trois ensembles : l'ensemble-départ (start-set), l'ensemble-transfert (transfert-set) et l'ensemble-résultat (result-set).

Deux cas de figures se présentent selon que l'ensemble-départ subit une augmentation ou une diminution. Deux sous-schémas sont disponibles et l'un d'eux est activé. Il s'agit du schéma TRANSFER-IN pour une augmentation et du schéma TRANSFERT-HORS pour une diminution.

Le schéma PARTIE-TOUT

Ce schéma est nécessaire pour l'élaboration des représentations des problèmes de type Combinaison. Une fois encore, ce schéma comporte trois variables et les valeurs possibles pour ces variables sont trois ensembles : deux de ces ensembles sont des sous-ensembles (subsets) c'est-à-dire que le statut de ces deux ensembles est spécifié de la sorte. Ces deux sous-ensembles concernent donc les deux parties et non le tout. Un troisième ensemble a le statut de super-ensemble (superset) qui est relatif au tout.

Les schémas PLUS QUE / MOINS QUE

Ces superstructures schématiques sont fondamentales lors de l'élaboration du modèle de situation des problèmes de type Comparaison. Une nouvelle fois, ce schéma général comporte trois variables qui sont des ensembles : le grand-ensemble (largeset), le petit-ensemble (smallset) et l'ensemble-différence (difference).

Ces connaissances schématiques sont essentielles pour résoudre les problèmes de types Changement, Combinaison et Comparaison proposés par Riley *et al.* La difficulté réside dans la capacité des « compreneurs » d'une part, à activer ces différents schémas et d'autre part à définir les rôles des différents ensembles construits. Un ensemble de stratégies a été mis en évidence par les auteurs.

3.2.3. Stratégies adaptées à l'utilisation des connaissances

Kintsch et Greeno (1985) ont mis en évidence quatre stratégies favorisant l'activation des différentes connaissances schématiques nécessaires à la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques : la stratégie CREER-ENSEMBLE (The MAKE-SET strategy), la stratégie ENSEMBLE-

TRANSFERT (The TRANSFERTSET strategy), la stratégie DIFFERENCE (The DIFFERENCE strategy) et enfin la stratégie SUPER-ENSEMBLE (The SUPERSET strategy).

3.2.3.1. Stratégie CREER-ENSEMBLE

Cette stratégie est mise en œuvre lorsqu'une proposition relative à une certaine quantité Q d'un certain objet y entre dans le système de traitement. Ainsi, les propositions comme CINQ(BILLES), COMBIEN(BILLES) et QUELQUES(BILLES) déclenchent la construction de schémas d'ensembles.

3.2.3.2. La stratégie ENSEMBLE-TRANSFERT

Cette stratégie est mise en œuvre lorsqu'une proposition comme « DONNER [agent : Xj, patient : Xk, objet : Y] » est traitée. Le prédicat DONNER accepte trois arguments. Ces arguments ont des rôles spécifiques : agent, patient et objet. Les deux premiers arguments font référence aux personnages de l'énoncé traité et le troisième renvoie effectivement à des objets ou encore à une proposition relative à une certaine quantité d'objets. La proposition citée précédemment signifie précisément que le personnage Xj donne la quantité Q de l'objet y au personnage Xk.

Ainsi la rencontre d'une telle proposition active le schéma TRANSFERT-DANS ou le schéma TRANSFERT-HORS. Le choix entre ces deux schémas est soumis à conditions.

S'il existe un ensemble Si dont l'identificateur de possession est Xk et la proposition GIVE[Xj, Xk, Q(y)] et s'il existe un ensemble Sk dont l'identificateur de possession est Xk qui est antérieur à Si alors le schéma TRANSFERT-DANS est activé et les ensembles Si et Sj ont respectivement les rôles « transfert » et « départ ». Cette stratégie et ses conditions d'application sont illustrées par l'énoncé correspondant au problème 1 de type Changement :

Joe avait 3 billes. Puis Tom lui a donné 5 billes. Combien de billes a maintenant Joe ?

S'il existe un ensemble S_i dont l'identificateur de possession est X_k et la proposition $GIVE[X_j, X_k, Q(y)]$ et s'il existe un ensemble S_j dont l'identificateur de possession est X_j qui est antérieur à S_i alors le schéma TRANSFERT-HORS est activé et les ensembles S_i et S_j ont respectivement les rôles « transfert » et « départ ». Cette stratégie et ses conditions d'application sont illustrées par l'énoncé correspondant au problème 2 de type changement :

Joe avait 8 billes. Puis il a donné 5 billes à Tom. Combien de billes a maintenant Joe ?

3.2.3.3. Stratégie DIFFERENCE

Cette stratégie a pour finalité l'attribution des différents statuts : ensemble-différence, grand-ensemble et petit-ensemble dans les schémas généraux PLUS QUE et MOINS QUE.

Le schéma PLUS-QUE est activé lorsqu'une proposition de la forme « AVOIR-PLUS-QUE [$X_i, X_j, Q(y)$] » est traitée.

3.2.3.4. Stratégie SUPER-ENSEMBLE

Cette stratégie assigne des statuts spécifiques aux schémas d'ensembles construits. Elle est associée aux schémas PARTIE-TOUT et est déclenchée lorsqu'une proposition du type HAVE-ALTOGETHER ($x_i \& x_j, Q(y)$) est traitée. Ainsi, l'ensemble dont l'identificateur de possession est la conjonction ou la réunion de deux personnes par exemple obtient le statut de SUPER-ENSEMBLE. Cette stratégie s'accompagne de deux sous-stratégies qui attribuent le statut de SOUS-ENSEMBLE aux deux ensembles dont les identificateurs de possession sont les deux personnes prises séparément.

3.2.4. Illustration du fonctionnement du modèle à partir d'un problème de type Combinaison

L'exemple proposé par Kintsch et Greeno (1985) pour illustrer le traitement propositionnel et la mise en œuvre d'une part des différentes connaissances schématiques et d'autre part des stratégies de compréhension concerne un problème de Combinaison dont l'inconnu est le super-ensemble (superset unknown). L'énoncé dans son écriture originale est donné ci-dessous :

« Joe has three marbles. Tom has five marbles. How many marbles do they have altogether ? »

La première phrase comporte trois propositions :

	P1	x1=Joe
	P2	HAVE (x1, P3)
P3		THREE (MARBLES)

La stratégie MAKE-SET est mise en œuvre lorsque la troisième proposition est traitée. Il y a donc la création d'un premier ensemble S1 à quatre variables (Object, Quantity, Spécification et Role). Trois cases de ce premier schéma d'ensemble sont remplies avec les trois premières propositions. La case Role (statut) reste vide à ce moment du traitement.

Le niveau sémantique de la représentation c'est-à-dire la base de texte comporte trois propositions ainsi qu'un schéma d'ensemble qui les organise.

Le niveau situationnel, c'est-à-dire le modèle de problème comporte pour le moment les arguments des différentes propositions qui trouvent leur place dans un schéma d'ensemble que nous appelons S1'(marbles, 3, Joe, ?).

De la deuxième phrase sont extraites les propositions P4, P5 et P6.

	P4	x2 = Tom
	P5	HAVE (x2, P6)

P6 FIVE(MARBLES)

La stratégie MAKE-SET est à nouveau mise en œuvre lorsque la sixième proposition est traitée. Il y a donc la création d'un deuxième ensemble S2 à quatre variables (Object, Quantity, Spécification et Role). Trois cases de ce deuxième schéma d'ensemble sont remplies avec les propositions P4, P5 et P6. La case Role (statut) de ce schéma d'ensemble reste vide également à ce moment du traitement.

Le niveau sémantique de la représentation s'enrichit des propositions P4, P5 et P6 ainsi que d'un nouveau schéma d'ensemble qui organise ces nouvelles propositions.

Le niveau situationnel s'enrichit également d'un schéma d'ensemble S2' dans lequel les arguments des propositions P4, P5 et P6 ont pris place. S2' est rempli comme suit : S2'(marbles, 5, Tom, ?)

Les propositions P7 et P8 sont extraites de la troisième phrase de l'énoncé.

P7 HOWMANY(MARBLES)
P8 HAVE-ALTOGETHER(x1 & x2, P7)

Le traitement de la proposition P7 déclenche la stratégie MAKE-SET qui aboutit à la création d'un troisième schéma d'ensemble S3. La base de texte s'enrichit donc d'un troisième schéma d'ensemble qui organise les propositions P7 et P8.

Au niveau situationnel, un troisième schéma d'ensemble S3'est construit dans lequel la quantité d'objets est à chercher, à calculer. Le traitement de la dernière proposition aboutit aussi à l'attribution du statut de SUPER-ENSEMBLE au schéma d'ensemble S'3. Les ensembles S'1 et S'2 ont donc le statut de sous-ensemble (subset).

Finalement, le traitement de l'énoncé aboutit à l'élaboration d'une représentation multi-niveaux. Le niveau sémantique s'organise autour de trois

schémas d'ensembles dans lesquels les propositions extraites de l'énoncé, phrase après phrase, trouvent leur place. Le niveau situationnel s'organise autour du schéma PARTIE-TOUT dans lequel les trois ensembles $S1'$, $S2'$ et $S3'$ sont mis en relation. Une fois cette représentation construite, les procédures de calcul qui lui sont associées sont mises en œuvre. Dans cet exemple, il s'agit de la procédure COUNT-ALL($S1$, $S2$). La figure 3.9 précise les propositions qui sont extraites des entrées linguistiques, les stratégies mises en œuvre ainsi que les niveaux sémantique et situationnel de la représentation.

La base de texte	Les stratégies	Le modèle de problème
<p>P1 $x_1 = \text{Joe}$ P2 AVOIR (x_1, P_3) P3 TROIS (BILLES)</p> <p>S1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objet : P3 • Quantité : • Identificateur: P1@P2 • Statut : 	<p>Joe a 3 billes</p> <p><i>CREER-ENSEMBLE</i></p>	<p>BILLES</p> <p>3</p> <p>Joe</p> <p>?</p>
<p>P4 $x_2 = \text{Tom}$ P5 AVOIR (BILLES) P6 CINQ (BILLES)</p> <p>S2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objet : P6 • Quantité : • Identificateur : P4@P5 • Statut 	<p>Tom a 5 billes</p> <p><i>CREER-ENSEMBLE</i></p>	<p>BILLES</p> <p>5</p> <p>Tom</p> <p>?</p>
<p>P7 HOWMANY (MARBLES) P8 HAVE-ALTOGETHER ($x_1 \& x_2, P_7$)</p> <p>S3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objet : P7 • Quantité : • Identificateur : P8 • Statut 	<p>Combien ont-ils de billes ensemble ?</p> <p><i>CREER-ENSEMBLE</i></p>	<p>BILLES</p> <p>But</p> <p>Joe&Tom</p> <p>Super-ensemble</p>

Illustration 3.10 : tableau récapitulatif du fonctionnement du modèle de la compréhension d'énoncés de problèmes simples et des différents niveaux de la représentation (Kintsch, Greeno, 1985).

3.3. Modèle de Construction-Intégration appliqué aux énoncés de problèmes arithmétiques simples

3.3.1. Limites du modèle précédent (1985)

La modélisation proposée par Kintsch et Greeno en 1985 concernant la résolution de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux s'appuyait sur des éléments théoriques plus généraux obtenus en 1983. Il était question d'une représentation multi-niveaux, de cycles de traitement, du rôle clé des propositions, des schémas d'ensembles et des schémas de problèmes.

Les auteurs insistaient également sur les stratégies arithmétiques mises en œuvre comme la création de certains ensembles à chaque fois qu'une proposition quantitative était rencontrée, la sélection correcte du schéma de problème ou encore l'attribution correcte des statuts des différents ensembles créés.

Ce modèle a permis de faire des avancées considérables, mais s'appuyait précisément sur les informations arithmétiques nécessaires et suffisantes pour une résolution réussie des problèmes. Ce modèle n'intégrait pas les subtilités linguistiques ou conceptuelles qui existent entre différents problèmes isomorphes et qui rendent certains d'entre eux plus difficiles à résoudre que d'autres.

Hudson (1983) propose précisément deux problèmes de type comparaison, identique du point de vue logico-mathématique, mais qui diffèrent d'un point de vue des concepts activés, de la situation proposée ainsi que du point de vue de la formulation de la question.

Problème (1) original :

There are five red marbles and three green marbles. How many more red marbles are there than green marbles ?

Problème (2) isomorphe au problème original :

Five birds saw three worms on the ground, and each bird tried to get a worm. How many birds didn't get a worm ?

Kintsch (1988) rappelle que la version originale de ce problème pose beaucoup de difficultés aux élèves de CP (first graders) alors que la version isomorphe est plus facilement résolue par les élèves de ce même niveau scolaire.

Les limites du modèle de 1985 sont mises en évidence dans la mesure où ces deux problèmes sont traités de façon identique. Le modèle de Construction-Intégration est une amélioration du modèle précédent car il se caractérise par une plus grande flexibilité et une plus grande sensibilité au contexte (Kintsch, 1988).

3.3.2. Phase de construction : Priorité aux traitements ascendants

Dans la version précédente du modèle de compréhension (1985) appliqué aux énoncés de problèmes, les traitements effectués étaient essentiellement de type descendant. En effet, très tôt, le schéma de problème approprié à la résolution était activé à partir d'indices de récupération. Le processus de compréhension d'un énoncé de problème aboutissait à l'élaboration d'une représentation multi-niveaux - niveau de surface, niveau sémantique et niveau situationnel - par la mise en oeuvre de puissantes règles de construction. Autrement dit, il s'agissait de la particularisation d'un schéma de problèmes qui était activé précocement.

Dans la nouvelle version du modèle de la compréhension, les règles appliquées ne sont pas aussi puissantes que dans le modèle précédent. Ce modèle est davantage dirigé par les données (bottom-up) et autorise la construction de propositions non directement extraites des entrées linguistiques par activation indirecte à partir du processus de propagation/diffusion de

l'activation dans le réseau des connaissances du lecteur. Ce modèle autorise donc l'activation de concepts, la construction de propositions qui ne sont pas nécessairement pertinents.

Le modèle de 1988 privilégie également, l'activation en parallèle, d'un certain nombre d'hypothèses arithmétiques alors que dans la version de 1985, seule l'hypothèse arithmétique appropriée l'était. Cette nouvelle version autorise donc, également, la formation d'hypothèses arithmétiques qui ne sont pas toutes pertinentes.

Les schémas d'ensembles existent toujours, mais Kintsch (1988) semble privilégier la formalisation propositionnelle. Cette dernière permet d'avoir sous un même format les informations provenant du texte et celles provenant des connaissances du lecteur. Ainsi, les schémas d'ensembles du modèle précédent (1985) se présentent de la façon suivante : SET [object :X, specification : Y, quantity : Z, role : W]. X fait référence à un objet de l'énoncé, Y se réfère aux propositions construites spécifiant l'objet X, Z renvoie à une proposition relative à une quantité et W indique le rôle de cet ensemble dans une superstructure schématique : les schémas de problèmes.

Comme les schémas d'ensembles, les schémas superordonnés, appelés également schémas de problèmes, peuvent être représentés par des schémas propositionnels. PPW[role[SET1,PART], role[SET2, PART], role[SET3, WHOLE]] est la traduction propositionnelle du schéma de problème PARTIE-TOUT dans lequel les ensembles S1 et S2 sont les deux parties et l'ensemble S3 le TOUT. Sous la forme abrégée, cette proposition s'écrit PPW. Il existe donc trois propositions possibles pour les problèmes de type Combinaison : PPW, PWP et WPP.

Ainsi, à la fin de la phase de construction, différents éléments ont été activés ou élaborés et mis en relation. Cette première phase se termine par l'attribution d'une certaine valeur numérique entre chaque paire propositionnelle. La matrice de connectivité (connectivity matrix) est la

formalisation des liens entre ces propositions. Ce réseau associatif n'est pas forcément cohérent. La phase de construction aboutit donc à un réseau propositionnel qui n'est pas stabilisé dans le sens où certaines de ces propositions ne sont pas pertinentes et sont peut-être même en contradiction avec d'autres propositions du réseau. C'est l'objectif de la phase d'intégration.

3.3.3. Phase d'Intégration : Stabilisation de la représentation

Comme cela a été dit à plusieurs reprises, le modèle de Construction-Intégration de Kintsch (1988) se caractérise par deux phases essentielles : la phase de Construction et la phase d'Intégration. Ces deux phases fonctionnent de façon cyclique.

La stabilité du réseau ou encore sa cohérence est l'objectif principal de la deuxième phase. Elle s'exprime par le renforcement de certaines liaisons propositionnelles et l'affaiblissement de certaines autres liaisons. D'un point de vue pratique, la propagation de l'activation dans le réseau s'exprime par la multiplication de la matrice de connectivité et d'un premier vecteur d'activation. Cette multiplication aboutit à la création d'un nouveau vecteur d'activation qu'il faut recalibrer de telle sorte que les valeurs restent comprises entre -1 et +1.

Cette opération doit s'effectuer plusieurs fois. Au bout d'un certain nombre d'itérations, les valeurs du vecteur d'activation se stabilisent, c'est-à-dire que ces valeurs ne changent pratiquement plus. Le dernier vecteur obtenu représente le niveau d'activation de chaque nœud en mémoire.

3.3.4. Illustrations du fonctionnement du modèle de 1988

Kintsch (1988, 1993) présentent différents exemples de la compréhension d'énoncés de problèmes à partir de modèle de Construction-Intégration. L'exemple proposé en 1988 est relatif à un problème de type Combinaison tandis que celui de 1993 concerne un problème de type Comparaison.

3.3.4.1. Problème de type Combinaison

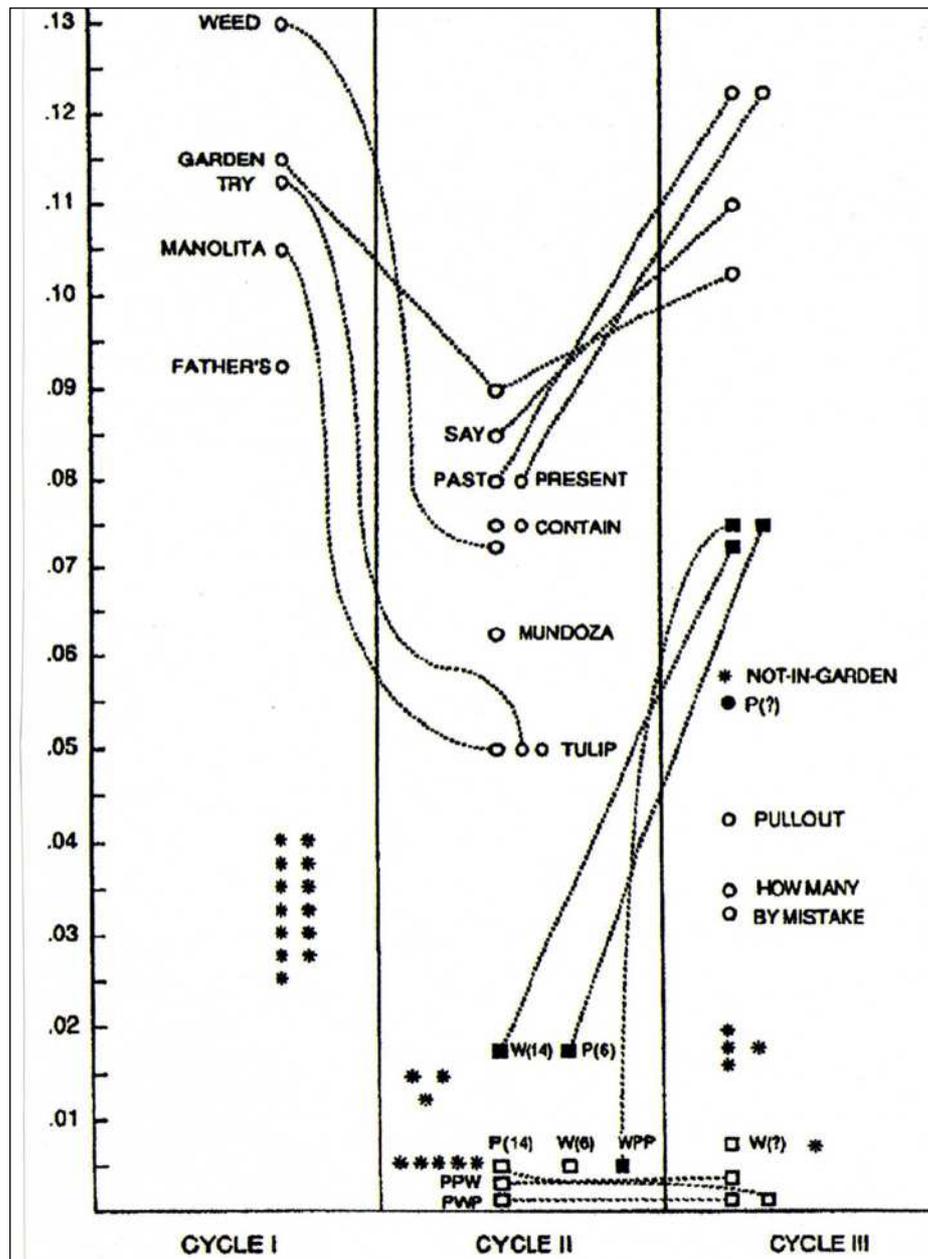


Illustration 3.11 : Tableau illustrant les différents niveaux d'activation des différents éléments de la représentation au fur et à mesure de la lecture de l'énoncé du problème « Manolita » (Kinstch, 1988).

Le problème arithmétique sur lequel repose l'illustration ci-dessus est proposé ci-dessous :

Manolita tried to weed her father's garden. « You sure weeded it » said Mr. Mundozea. « There were fourteen tulips in the garden and now there are only six. » How many tulips did she pull out by mistake ?

Le processus de compréhension de cet énoncé nécessite 3 cycles de traitement. Le premier cycle correspond à la première phrase, le deuxième cycle aux phrases 2 et 3 et enfin le dernier cycle correspond au traitement de la question.

Le premier cycle de traitement concerne la première phrase. Les concepts évoqués dans cette phrase sont activés et les propositions directement extraites de cette phrase sont élaborées. Dans l'illustration proposée, seuls les prédicats sont mentionnés. De façon précise, 5 propositions sont construites.

P1 : MANOLITA
P2 : GARDEN
P3 : TRY [MANOLITA, P4]
P4 : WEED [MANOLITA, GARDEN]
P5 : FATHER'S [GARDEN]

Lors de la phase de construction, d'autres propositions sont élaborées grâce au processus de diffusion de l'activation. Ces propositions sont mentionnées par les astérisques et leur niveau d'activité est finalement assez faible. En revanche la proposition P4 : WEED[MANOLITA, GARDEN] qui est centrale dans la base de texte a un niveau d'activité très élevé. Cette première phrase n'est pas déterminante pour résoudre le problème. Aucune hypothèse arithmétique est activée.

Lorsque le deuxième cycle de traitement commence, les 4 propositions dont les niveaux d'activité sont les plus élevés sont gardées en mémoire de travail. À ces 4 propositions viennent s'y greffer d'une part, des propositions directement extraites de la seconde phrase et d'autre part, des propositions optionnelles. Ces dernières sont à nouveau mentionnées par les astérisques. Le traitement de cette seconde concerne des propositions numériques : FOURTEEN [TULIP] et SIX [TULIP].

Ces propositions numériques vont activer 4 hypothèses arithmétiques : WHOLE[14] , PART[6], WHOLE[6] , PART[14]. Ces propositions vont activer également 3 hypothèses arithmétiques superordonnées : PPW, PWP et WPP.

Les connaissances des lecteurs relativement au concept WEED sont déterminantes quant au choix finalement adéquat. Dans l'illustration proposée, Les différentes hypothèses arithmétiques superordonnées ont toutes des niveaux d'activité relativement bas. Lorsque la question est traitée, les niveaux d'activité des propositions WHOLE[14], PART[6] et WPP deviennent élevés. Les autres propositions arithmétiques sont finalement inhibées.

3.3.4.2. Le problème de type Comparaison

Les problèmes de type Comparaison sont les plus difficiles à résoudre pour les élèves. Différents facteurs ont été mis en avant pour expliquer ces difficultés accrues : connaissances arithmétiques incomplètes ou encore difficultés pour les élèves à sélectionner un schéma de problèmes adéquat à partir des entrées linguistiques proposées. L'objectif de Kintsch et Lewis (1993) est double : appliquer le modèle de Construction-Intégration à ce type de problème et approcher la formation et la sélection des hypothèses arithmétiques faites par les élèves au cours même de la lecture de l'énoncé.

Pour atteindre leur objectif, les chercheurs ont construit plusieurs problèmes de type Comparaison en faisant varier certains paramètres de l'énoncé : pronom personnel sujet / nom, opération congruente avec le sens de la comparaison / opération non congruente avec le sens de la comparaison.

D'un point de vue pratique, les problèmes étaient présentés aux sujets sur un écran d'ordinateur et les mots apparaissaient les uns après les autres dans leur position normale de l'énoncé. À différents moments clés de la lecture, il était demandé aux sujets de répondre le plus rapidement possible s'il s'agissait d'un problème additif ou soustractif en pressant sur des boutons prévus à cet effet. Cette question leur était posée à la fin de la première phrase, au milieu de la

deuxième phrase, à la fin de la deuxième phrase et après la question. Finalement, les sujets devaient résoudre le problème sur une feuille. La figure 3.12 illustre deux problèmes de type Comparaison proposés par Kinstch et Lewis.

Problème congruent	Problème non congruent
Tom mesure 175 cm./ Jeff mesure 12 cm de plus/ que Tom./ Combien mesure Jeff ?/	Tom mesure 175 cm./ Il mesure 12 cm de moins/ que Jeff./ Combien mesure Jeff ?/
Tom is 175 cm tall./ Jeff is 12 cm taller/ than Tom./ How tall is Jeff ?/	Tom is 175 cm tall./ He is 12 cm shorter/ than Jeff./ How tall is Jeff ?/

Tableau 3.12 : Il contient deux exemples de problèmes de type Comparaison dans les versions française et originale. Les barres obliques indiquent les endroits où les questions ont été posées aux sujets (Kintsch et Lewis, 1993).

Lors de la phase de construction, les entrées linguistiques de l'énoncé sont les éléments qui vont permettre l'activation des concepts et la construction de propositions. Ces propositions sont donc directement extraites de l'énoncé, mais elles sont construites également à partir du réseau de connaissances du lecteur par propagation de l'activation.

La phase de construction de la représentation sous la forme de réseau associatif s'appuie sur trois types d'éléments : les propositions directement extraites de l'énoncé (cercles blancs sur la figure 3.13), les schémas de problèmes – schéma additif et schéma soustractif (ADDITION-SCHEMA et SUBTRACTION-SCHEMA (cercles hachurés sur l'illustration 3.14)) - et enfin les actions qu'il est possible de faire - additionner et soustraire (cercles noirs sur l'illustration 3. 14).

Le processus de compréhension est vu comme une mise en relation d'éléments provenant d'une part de l'énoncé et d'autre part des connaissances

du lecteur. La phase de construction se termine par l'attribution d'une valeur numérique aux différentes paires du réseau associatif.

Le problème de type Comparaison sur lequel s'appuient les auteurs est un problème additif. L'opération adéquate est non congruente au sens de la comparaison. Enfin l'énoncé ne comporte pas de pronom personnel sujet.

Tom is 175cm tall. Tom is 12 cm shorter than Jeff. How tall is Jeff ?

Phrases de l'énoncé	Traduction propositionnelle
Tom is 175cm tall.	TALL[TOM] 175CM[TALL[TOM]]
Tom is 12cm shorter than Jeff.	SHORTER[TOM, JEFF] 12CM[SHORTER[TOM, JEFF]]
How tall is Jeff ?	TALL[JEFF] HOW[TALL[JEFF]]

Tableau 3.13 : Traduction propositionnelle des phrases de l'énoncé de problème de type Comparaison.

Le processus de compréhension aboutit à la construction d'un réseau associatif qui est constitué de 10 nœuds : les 6 propositions directement extraites de l'énoncé, les deux schémas de problèmes ainsi que les deux nœuds relatifs aux actions qu'il est possible de faire.

Il reste donc à déterminer la force des liaisons entre ces différentes paires de propositions. Certaines de ces valeurs sont fixées pour des raisons théoriques et certaines autres sont ajustées par simulation de manière à être compatibles avec les données.

Chaque proposition est liée à elle-même avec une force égale à 1 sauf la proposition ADD qui a une force de 1.2 parce qu'il y a un biais en faveur de l'addition dans les problèmes arithmétiques.

Les propositions directement extraites de l'énoncé sont liées entre-elles avec une force égale à 1 lorsqu'il y a chevauchement d'argument ou lorsqu'une proposition est un argument d'une autre proposition (traits pleins).

Les deux propositions de la première phrase sont liées aux deux schémas de problèmes avec une force équivalente à 0.4 (tirets normaux). Cette équivalence est due au fait qu'au début, il y a indifférence entre les schémas. Il n'y a aucun indice dans cette phrase, en effet, qui est liée davantage à un schéma qu'à un autre. La force de liaison est plutôt faible.

Les quatre autres propositions des deux dernières phrases sont liées uniquement au schéma additif avec une force de 0.8 (tirets en gras).

La proposition SHORTER[TOM, JEFF] est directement liée à la soustraction avec une force de 0.4.

Enfin, les schémas de problèmes et les propositions relatives aux actions sont liées avec une force de 1 (traits pleins).

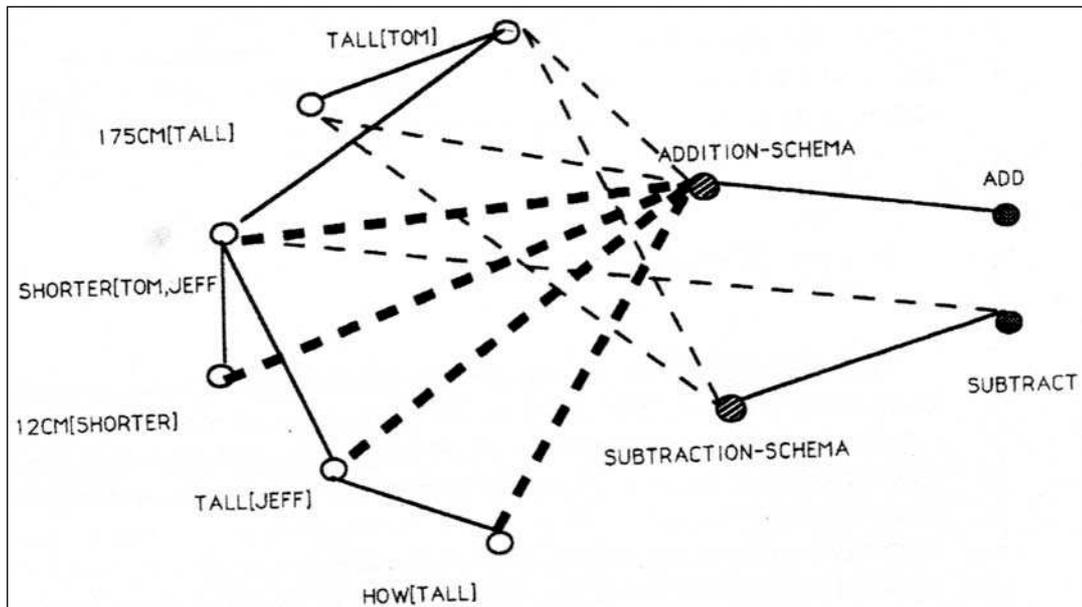


Figure 3.14 : Réseau propositionnelle à la fin de la phase de Construction (Kintsch et Lewis, 1993). Les traits pleins correspondent à une force de liaison égale à 1, les pointillés à une force de liaison égale à .4 et enfin les pointillés en gras une force de liaison égale à .8.

La phase d'intégration met en œuvre d'une part un processus de renforcement de certaines liaisons propositionnelles et d'autre part un processus d'affaiblissement de certaines autres liaisons. Du point de vue de la simulation, ces deux processus s'expriment par la multiplication de la matrice de connectivité par un premier vecteur d'activation. Il sera obtenu un nouveau vecteur d'activation qu'il s'agit de recalibrer ou normaliser pour rester dans l'intervalle $[-1, 1]$. Au bout de quelques itérations, les valeurs du vecteur se stabilisent et elles déterminent la force de chaque nœud en mémoire à long terme.

La figure 3.14 illustre la matrice de connectivité ainsi que les valeurs du dernier vecteur d'activation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TALL[TOM]	1	1	1	0	0	0	.4	.4	0	0
175CM[TALL[.]]	1	1	0	0	0	0	.4	.4	0	0
SHORTER[T, J]	1	0	1	1	1	0	.8	0	0	.4
12CM[SHORTER[.]]	0	0	1	1	0	0	.8	0	0	0
TALL[JEFF]	0	0	1	0	1	1	.8	0	0	0
HOW[TALL[.]]	0	0	0	0	1	1	.8	0	0	0
ADD-SCHEMA	.4	.4	.8	.8	.8	.8	1	0	1	0
SUBTRACT-SCHEMA	.4	.4	0	0	0	0	0	1	0	1
ADD	0	0	0	0	0	0	1	0	1.2	0
SUBTRACT	0	0	.4	0	0	0	0	1	0	1
Vecteur non calibré	3.8	2.8	5.2	2.8	3.8	2.8	6	2.8	2.2	2.4
Vecteur calibré	.63	.47	.87	.47	.63	.47	1	.47	.37	.4
Vecteur final	.6	.36	.94	.58	.75	.52	1	.19	.36	.19

Tableau 3.15 : Matrice de connectivité et valeurs des vecteurs d'activation (Kintsch et Lewis, 1993).

3.4. Interprétations des difficultés des élèves à résoudre des problèmes arithmétiques

Les recherches proposées par les chercheurs en psychologie concernant la résolution de problèmes arithmétiques ont été orientées vers l'élaboration de modèles descriptifs du fonctionnement du système cognitif humain qui tiennent compte, dans la mesure du possible, des difficultés rencontrées par les élèves. Trois facteurs essentiels ont été mis en avant par la recherche : les connaissances arithmétiques, les connaissances linguistiques et enfin les contraintes du système de traitement de l'information (Kintsch, 1987).

3.4.1. Difficultés liées aux connaissances arithmétiques

D'un point de vue historique, ce sont ces facteurs qui ont d'abord été étudiés. Les difficultés des élèves seraient liées aux connaissances arithmétiques incomplètes. Riley et al. (1983) ont proposé un modèle évolutif de la résolution de problèmes de type Changement que nous avons détaillé dans la section 3.1.3 . Il tient compte, nous le rappelons, de la capacité des sujets à concevoir les relations entre les trois ensembles (ensemble de départ, ensemble transfert et ensemble résultat). Kintsch et Greeno se sont appuyés sur ce modèle logico-mathématique pour concevoir le leur et rappellent qu'Heller et al. (1983) ont distingué trois niveaux conceptuels selon d'une part, le degré de dépendance aux représentations externes des informations données dans l'énoncé du problème et d'autre part, de la capacité à mettre en œuvre les inférences qui assignent les différents statuts aux ensembles (1985).

L'importance de ce facteur dans la réussite ou l'échec des élèves dans les activités de résolution de problèmes n'est pas remise en cause. Fayol et Abdi (1986) par exemple, qui a étudié l'impact des formulations sur la résolution de problèmes arithmétiques, révèle la publication par Nescher en 1982 de résultats allant dans le sens d'une certaine exclusivité de ce facteur. Kintsch, lui même,

qui propose une version plus récente de son premier modèle (1988) et dans lequel les facteurs linguistiques sont davantage pris en compte n'exclut pas pour autant ces connaissances arithmétiques.

3.4.2. Difficultés liées aux connaissances linguistiques

Les deux versions du même de type Comparaison présentées à la section 3.3.1 est une illustration des difficultés liées aux connaissances linguistiques. Il est donc possible que les connaissances arithmétiques ne soient pas en cause. Il se pourrait qu'elles soient disponibles mais que la formulation de certains énoncés ne permet pas aux élèves d'y accéder.

Pour les problèmes de type Comparaison, la formulation classique « avoir 5 billes de plus que ... » par exemple n'appartient pas au répertoire langagier quotidien des enfants. Ces structures se rencontrent le plus souvent à l'école.

En revanche, pour ce même problème de type Comparaison formulé différemment, permet aux élèves d'appréhender la motivation des acteurs (les oiseaux) et donc leurs actions. Selon cette formulation, les élèves appréhendent davantage la situation. Elle permet donc aux élèves d'accéder aux connaissances arithmétiques appropriées. Hudson (1983) propose cette interprétation pour expliquer certaines difficultés rencontrées par les élèves. Il met en avant les lacunes linguistiques.

Aujourd'hui de nombreuses études en résolution de problèmes non arithmétiques ont mis en avant que les objets manipulés, les propriétés de ces même objets déterminent pour une part les stratégies ou les actions des sujets. Ces travaux s'appuient sur l'isomorphie de certains problèmes.

3.4.3. Difficultés liées aux contraintes du système mnésique

La compréhension et la résolution de problèmes arithmétiques sollicitent la mémoire de travail (MT) car c'est à ce niveau que les connaissances du sujet et les entrées linguistiques provenant de l'énoncé vont interagir pour aboutir à l'élaboration de la représentation. Or, cette mémoire de travail a une capacité limitée. Le fonctionnement de cette mémoire mobilise des ressources mentales, elles aussi limitées, qui vont se répartir de façon plutôt flexible entre la fonction de stockage et la fonction de traitement.

C'est dans la perspective d'étudier à la fois les connaissances antérieures mais aussi les capacités de la mémoire de travail que des chercheurs ont proposé de comparer les sujets experts et les sujets novices dans des domaines spécifiques.

Hypothèses

L'idée forte qu'il convient de rappeler lorsqu'il s'agit d'étudier la compréhension de textes concerne les sources d'informations. La compréhension de textes s'appuie bien sûr sur les textes eux-mêmes. C'est ce qu'il convient d'appeler les entrées linguistiques ou l'input verbal. Il s'agit de la première source d'informations. Elle est extérieure au sujet. Mais la compréhension s'appuie également sur une seconde source d'informations qui est interne au sujet : ce sont ses connaissances. Ces dernières sont essentielles à la compréhension de textes et elles sont multiples. Le sujet mobilise aussi bien ses connaissances linguistiques que conceptuelles. De nombreux travaux ont validé cette idée. Aujourd'hui il est admis que l'activité de compréhension procède d'une interaction entre ces deux sources d'informations.

La théorie de la compréhension développée par Kintsch depuis le début des années soixante-dix est une théorie propositionnelle. Pour cet auteur, l'unité de traitement est principalement la proposition qui est constituée d'un prédicat et

de ses arguments. De nombreux travaux ont mis en évidence la validité psychologique des propositions.

Du point de vue de la seconde source d'informations, il existe différentes formalisations des connaissances stockées en mémoire à long terme (MLT) : les réseaux sémantiques, les réseaux associatifs ou encore les schémas. Du point de vue arithmétique, ces connaissances sont organisées selon des schémas. Ce sont des schémas de problèmes.

Pour les psychologues cognitivistes le processus de compréhension s'applique à des entités cognitives provenant des deux sources précédemment citées et aboutit à la construction d'une représentation en mémoire de travail (MDT).

Kintsch et Van Dijk proposent une première version de leur théorie en 1978. La construction de la représentation se fait par cycle et se rapproche de la structure sémantique des textes lus. La représentation élaborée est vue comme un réseau sémantique constitué de propositions se situant à différents niveaux : microstructural (micropropositions) et macrostructural (macropropositions).

En 1983, Kintsch complète son modèle en introduisant différents niveaux représentationnels : le niveau de surface, le niveau sémantique et le niveau situationnel.

Enfin, une version encore plus aboutie est développée en 1988. Pour cet auteur, le processus de compréhension aboutit toujours à la construction d'une représentation multidimensionnelle qui s'effectue toujours de façon cyclique. La construction de la représentation s'effectue selon une première phase au cours de laquelle le contexte n'intervient pas. Le réseau construit n'est pas stable. Cette première phase s'accompagne d'une seconde dont l'objectif est de stabiliser le réseau en renforçant certains liens propositionnels et en inhibant d'autres. Ces renforcements et ces inhibitions se produisent par propagation de l'activation dans le réseau.

Cet auteur s'est intéressé au processus de compréhension lorsqu'un sujet avait à lire un récit. Il a également étudié compréhension des énoncés de problèmes simples additifs, c'est-à-dire des problèmes nécessitant seulement une addition ou une soustraction pour répondre à la question. En 1985, il applique sa théorie de 1983 aux énoncés de problèmes et insiste sur les stratégies arithmétiques ainsi que les différents niveaux de la représentation. Le modèle proposé met en œuvre un traitement principalement descendant avec la sélection très tôt du schéma de problème approprié à la situation.

En 1988 et 1993, il applique le modèle de Construction-Intégration à des énoncés de problèmes de types Partie-Tout et Combinaison. Le traitement privilégié est ascendant avec l'activation en parallèle d'un ensemble d'hypothèses arithmétiques.

Notre recherche se situe dans la lignée des travaux de Kintsch puisqu'il s'agit d'étudier la mise en œuvre du processus de compréhension des énoncés de problèmes complexes chez des élèves de CM1. Les problèmes utilisés sont constitués de problèmes simples de types Combinaison et Changement. Notre hypothèse générale s'énonce de la façon suivante :

Le processus de compréhension des énoncés de problèmes complexes aboutit à la construction d'une représentation dont le niveau sémantique peut être vu comme un réseau associatif constitué des propositions directement extraites de l'énoncé, des inférences produites par propagation de l'activation, d'une combinaison de schémas de problèmes PARTIE-TOUT (PPPW) et TRANSFERT (SS TS RS) ainsi que des actions qu'il est possible de faire à partir de ces schémas (addition et soustraction).

Opérationnalisation de l'hypothèse générale :

1. Le processus de compréhension des énoncés de problèmes complexes aboutit à l'élaboration d'une représentation. Cette représentation est constituée entre autres des propositions directement extraites du texte.

L'activation des concepts, l'élaboration des propositions à partir de ces concepts ainsi que l'activation des propositions qui leur sont proches dans le réseau de connaissance du sujet sont des processus essentiels qui interviennent quelque soit le type de texte. Aussi, il existe une relation entre les performances à un test de compréhension de textes narratifs et les performances en résolution de problèmes complexes.

2. Cette représentation s'organise autour des schémas de problèmes de type PARTIE-TOUT et TRANSFERT. Ainsi, il existe une relation entre les performances à la résolution des problèmes simples de types Combinaison et Changement et les performances à la résolution des problèmes complexes.

3. Il est possible d'aider les sujets à modifier leur représentation peu adéquate à la résolution des problèmes complexes en agissant sur les énoncés de telle sorte que les nouvelles informations données contribuent d'une part à activer les éléments manquant et d'autre part à mieux organiser l'ensemble des éléments. Ainsi, proposer aux sujets des questions favorisant l'activation et l'organisation des schémas de problèmes améliore leurs performances aux problèmes complexes.

Méthodologie

Chapitre 4 : Méthodologie de la recherche

4.1. Participants

La recherche que nous menons concerne des élèves de cycle 3 de niveau 2 de l'école élémentaire (élèves de CM1). Le choix ne s'est pas fait au hasard. Tout d'abord, J'enseigne à ce niveau depuis quelques années et je m'intéresse donc particulièrement à la façon dont ces élèves traitent les problèmes arithmétiques. Ensuite, il est question dans la deuxième phase de notre protocole, de problèmes complexes. Et de ce point de vue, ils concernent davantage les élèves de cycle 3 que les élèves des cycles 1 et 2. Notre but n'étant pas non plus de faire une étude longitudinale, nous nous sommes intéressés exclusivement aux élèves de CM1.

239 élèves de CM1 de quatre circonscriptions différentes de l'île participent à notre recherche. Ils se répartissent de la façon suivante : 25 élèves sont de la deuxième circonscription de Saint-Denis (Saint-Denis 2), 26 élèves sont de la troisième circonscription de Saint-Denis (Saint-Denis 3), 26 élèves sont de la première circonscription du Port (Port 1) et enfin, 162 élèves sont de la circonscription de Petite-Île.

Élèves		Circonscriptions
25		Saint-Denis 2
26		Saint-Denis 3
26		Port 1
162		Petite-Île
Total	239	

Tableau 4.1 : Récapitulatif de l'effectif total des participants.

Je travaille dans la circonscription de Petite-Ile depuis la rentrée scolaire 2007. C'est donc naturellement que j'ai sollicité mes collègues qui ont eu la gentillesse de bien vouloir participer à mes travaux. De plus, voulant un nombre

important d'observations et ayant travaillé au Port et à Saint-Denis, d'autres enseignants ont répondu également à mes sollicitations.

Cette recherche a mobilisé 12 classes de CM1. Si 239 élèves ont effectivement participé à la première phase, seuls les résultats de 227 élèves ont été retenus lors de la seconde phase. Cette différence provient d'une part, de l'absence de certains élèves lors de cette seconde phase ou encore par un recueil incomplet des données. Pour certains élèves par exemples, nous avons recueilli qu'une seule des versions proposées lors de la phase 2 alors qu'ils avaient à résoudre 3 problèmes arithmétiques complexes. Les résultats de ces derniers n'ont pas été pris en compte dans l'étude.

Les mouvements de certains élèves en cours d'année scolaire n'étant pas prévisibles, 224 élèves ont participé pleinement aux deux phases de la recherche. Ainsi, selon les variables privilégiées, les effectifs globaux ont concerné 239, 227 ou 224 participants.

4.2. Phase 1

L'objectif de notre étude est de préciser le processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes. Selon notre hypothèse générale, ce processus met en jeu des processus qui interviennent quel que soit le type de texte à comprendre. Il est donc important de connaître le niveau d'expertise des participants en compréhension de textes narratifs, par exemple.

Le résultat du processus général de la compréhension de textes est déterminé, pour une part, par les connaissances conceptuelles des sujets. Les connaissances conceptuelles dont il est question concernent la résolution des problèmes arithmétiques simples.

Finalement, les élèves de CM1 ont été soumis à deux épreuves préliminaires : une épreuve de compréhension d'un texte narratif et une autre de résolution de problèmes arithmétiques simples. Ces deux premières épreuves correspondent à la phase 1.

4.2.1. Matériel

4.2.1.1. Le texte narratif

Le texte de type narratif proposé aux élèves est extrait de la collection ARTHUR dirigée par Bentolila et Richaudeau (2000) et destinée aux élèves de CM1. La conception de ces auteurs du processus de compréhension est en accord avec le modèle de Kintsch puisqu'ils insistent sur l'identification des mots, la construction du sens local. Ils parlent d'opération mentale aboutissant à la construction de propositions sémantiques. Il est question également de construction du sens global et de l'organisation hiérarchisée des propositions. Ils indiquent également que la représentation mentale de ce qui est lu est la base de texte et correspond à un résumé de ce qui a été lu. Ils insistent aussi sur les inférences indispensables à faire et les connaissances préalables des lecteurs.

Le modèle de Kintsch (1978, 1983 et 1988) dépasse donc le cadre de la psychologie cognitive et se retrouve également en pédagogie.

Perdus...

Tout à coup les enfants débouchent dans une salle immense. Au plafond de la grotte, de petites fentes percées dans la roche laissent passer quelques rayons de soleil. Albert en profite pour éteindre sa lampe.

- Voici la salle indiquée sur le plan ! s'exclama Béatrice. Nous sommes sur la bonne route !

- Mais nous sommes aussi épuisés, soupire Fatima. Il faudrait faire une petite pause...

Au centre de la salle, une grande table en bois. Quelques assiettes ébréchées et des pots en terre cuite sont posés dessus. De chaque côté de la table, deux longs bancs sur lesquels des chevaliers se sont assis, il y a longtemps.

César se précipite pour poser ses fesses sur l'un des bancs. Bien sûr, il sait qu'il n'y a rien à manger. Mais peut-être qu'en s'asseyant il aura l'impression de calmer sa faim...

Il s'assoit...et s'écroule aussitôt dans un grand nuage de poussière. Le bois pourri n'a pas supporté son poids. Malgré leur peur, les enfants éclatent de rire en voyant le gourmand par terre au milieu des morceaux du banc.

- Vite, vite... Venez voir ce que j'ai trouvé ! s'écrie soudain José.

Il vient d'ouvrir un vieux coffre en fer. À l'intérieur, plusieurs épées rouillées dans leur fourreau. Une arquebuse, quelques gros livres et un petit coffret.

José ouvre un livre très lourd. Il se place sous un rayon de soleil et tente d'en lire une page.

- Ça alors ! Je ne comprends rien à cette écriture.

Fatima s'approche à son tour intéressée. Elle regarde le livre.

- Mais si, José ! C'est du français, mais du vieux français. Autrefois, certains mots étaient différents et ils ne s'écrivaient pas de la même manière.

- N'insiste pas, Fatima ! ricane Béatrice en voyant les yeux ronds de José. Il ne sait déjà pas bien lire en français moderne...Alors le vieux français...

- Non mais dis donc, espèce de Béatrice à la gomme ! rugit José. Si tu commences comme ça, je vais te...

- Ah non ! Ce n'est pas le moment de se disputer ! s'exclame Albert. N'oubliez pas que nous sommes perdus dans un endroit plein de squelettes. En plus, nous n'avons rien à boire, rien à manger. Et puis la pile de ma lampe électrique est presque à plat.

- Il a raison ! dit César. Je crois que ce n'est vraiment pas le moment de s'énerver. Nous devrions nous reposer quelques instants ici avant de reprendre notre route.

José, quand même vexé, s'est éloigné de la troupe. Mais bientôt le voilà qui revient en courant :

- Là-bas ! Là-bas, dit-il en pointant son doigt. De la lumière !

D'après Christian Lamblin, Le Moniteur de lecture CMI, Editions NATHAN.

Dans la version originale, 7 questions sont proposées aux élèves. D'un point de vue sémantique, 6 d'entre elles sont rattachées au niveau local de la base de texte et concernent donc davantage la microstructure et la septième, quant à elle, est davantage liée à la macrostructure puisqu'il s'agit de choisir parmi 4 possibilités celle qui correspond le mieux à un résumé du texte.

1. Dans cette histoire,
 - Il n'y a pas de fille du tout.
 - Il y a au moins 2 filles.
 - Il y a au moins 4 filles.
 - Je ne sais pas répondre.
2. La scène se passe
 - dans un château.
 - dans un musée.
 - dans une grotte.
 - Je ne sais pas répondre.
3. Les enfants découvrent des objets anciens. Parmi ces objets, il y a
 - de la vaisselle abîmée.
 - des bijoux.
 - des vêtements de chevaliers.
 - Je ne sais pas répondre.
4. Les enfants découvrent aussi des livres.
 - Ils sont difficiles à lire.
 - Ils tombent en poussière dès qu'on les ouvre.
 - Ils indiquent l'existence d'un trésor.
 - Je ne sais pas répondre.
5. Dans cette histoire, les enfants
 - s'entendent toujours bien.
 - se battent tout le temps.
 - se disputent quelques fois.
6. À la fin du texte, les enfants
 - arrivent à manger un peu.
 - aperçoivent de la lumière.
 - Finissent par trouver la sortie.
 - Je ne sais pas répondre.
7. Quel est le meilleur résumé pour cette histoire ?
 - Des enfants se sont perdus parce qu'ils se sont disputés ; heureusement, ils font une découverte qui les sauve.
 - Des enfants se sont perdus. Ils font une découverte, mais ils ne sont pas encore sauvés.
 - Des enfants font une découverte, mais l'un d'entre eux a un grave accident. Ils ne savent pas quoi faire.
 - Je ne sais pas répondre.

Nous avons décidé de modifier ce questionnaire en supprimant la première question et en rajoutant deux autres qui sont relatives aux reprises anaphoriques et en particulier l'utilisation des pronoms personnels sujets. La suppression de la première question a été motivée par la présence des termes « au moins ».

1. La scène se passe
 - dans un château.
 - dans un musée.
 - dans une grotte.
 - Je ne sais pas répondre.

2. Les enfants découvrent des objets anciens. Parmi ces objets, il y a
 - de la vaisselle abîmée.
 - des bijoux.
 - des vêtements de chevaliers.
 - Je ne sais pas répondre.

3. Dans cette histoire,
 - **Albert s'assoit sur un banc et s'écroule.**
 - **Béatrice s'assoit sur un banc et s'écroule.**
 - **César s'assoit sur un banc et s'écroule.**
 - **Je ne sais pas répondre.**

4. Dans cette histoire ;
 - **José a ouvert un coffre en fer.**
 - **Fatima a ouvert un coffre en fer.**
 - **Albert a ouvert un coffre en fer.**
 - **Je ne sais pas répondre.**

5. Les enfants découvrent aussi des livres.
 - Ils sont difficiles à lire.
 - Ils tombent en poussière dès qu'on les ouvre.
 - Ils indiquent l'existence d'un trésor.
 - Je ne sais pas répondre.

6. Dans cette histoire, les enfants
 - s'entendent toujours bien.
 - se battent tout le temps.
 - se disputent quelques fois.

7. À la fin du texte, les enfants
 - arrivent à manger un peu.
 - aperçoivent de la lumière.
 - Finissent par trouver la sortie.
 - Je ne sais pas répondre.

8. Quel est le meilleur résumé pour cette histoire ?
 - Des enfants se sont perdus parce qu'ils se sont disputés ; heureusement, ils font une découverte qui les sauve.
 - Des enfants se sont perdus. Ils font une découverte, mais ils ne sont pas encore sauvés.
 - Des enfants font une découverte, mais l'un d'entre eux a un grave accident. Ils ne savent pas quoi faire.
 - Je ne sais pas répondre.

4.2.1.2. Problèmes arithmétiques simples

Les problèmes choisis se rapprochent de ceux proposés par Riley et al. (1983). Ils ne sont pas identiques car nous nous adressons essentiellement à des élèves de CM1 et nous supposons qu'avec l'expérience acquise depuis qu'ils sont à l'école que les problèmes proposés par les auteurs précédemment cités ne sont pas assez riches. Ainsi, les habillages choisis, les thèmes abordés et les données numériques proposées vont dans le sens d'une densification des énoncés.

Lorsque nous parlons de problèmes simples cela ne signifie pas qu'ils soient faciles à résoudre mais qu'ils nécessitent une seule opération ou encore un seul pas de solution. Notre objet d'étude est la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes qui combinent deux types de problèmes : Changement et Combinaison. Les problèmes simples choisis pour cette première phase concernent des problèmes de ces deux types exclusivement. Trois problèmes de type Changement et trois problèmes de type Combinaison ont été donnés aux élèves dont voici les caractéristiques.

4.2.1.2.1. Problèmes de type Changement

Le premier problème de type Changement est constitué de 3 phrases et est à transformation négative dont l'inconnu est l'état final. La transformation négative est exprimée par le verbe « *abandonner* ». Nous avons intégré à cet énoncé une donnée numérique parasite, c'est-à-dire que cette donnée numérique n'est pas utile à la résolution du problème. L'évolution de la situation d'un point de vue temporel est exprimée par les groupes de mots tels que « *le départ* » et « *la ligne d'arrivée* ».

L'énoncé du premier problème de type Changement est présenté ci-dessous.

« 98 coureurs prennent le départ d'une course cycliste longue de 176 km. 24 coureurs abandonnent. Combien de coureurs franchissent la ligne d'arrivée de cette course ? »

Le deuxième problème de type Changement est constitué de 3 phrases et est aussi à transformation négative exprimée par le verbe « vendre ». L'inconnu est l'état initial et il n'y a pas de données numériques parasites. Il est important de souligner que la deuxième phrase de l'énoncé présenté comporte le verbe « reste » qui est fortement associé à la soustraction.

L'énoncé de ce deuxième problème est présenté ci-dessous:

« Gérard vend des billets de loterie. Il en a déjà vendu 18 et il lui en reste 49 à vendre. Combien de billets avait-il au début ? »

Le troisième problème de type Changement est construit à partir de 3 phrases et est également à transformation négative. Cette transformation négative est exprimée par le verbe « quitter ». Il s'agit de trouver cette transformation négative. L'état initial et l'état final sont connus. Les données numériques sont à 3 chiffres. Les différents moments de la situation sont exprimés par les expressions ou mots tels que (« l'année dernière »), (« maintenant ») ou encore l'utilisation de l'imparfait (« comptait ») et du présent (« a »).

Voici l'énoncé proposé aux élèves :

« Dans un village du sud de la France, on comptait 789 habitants. Il y en a maintenant 677. Combien d'habitants ont quitté ce village ? »

4.2.1.2.2. Problèmes de type Combinaison

Le premier problème de type Combinaison est structuré de la façon suivante : Partie-Partie-Partie-Partie-Tout. La question porte sur le Tout. Il comporte donc 4 données numériques qui sont toutes utiles pour atteindre la solution et met en scène une situation déjà expérimentée par la majorité des élèves puisqu'il s'agit d'une sortie scolaire. L'énoncé est constitué de 2 phrases.

L'énoncé du premier problème de type Combinaison est :

« 26 élèves du CE2, 23 élèves du CM1, 28 élèves du CM2 et 5 adultes s'installent dans un grand bus pour aller visiter l'aquarium de Saint-Gilles. Combien de passagers sont montés dans ce bus. »

Le deuxième problème de type Combinaison est structuré de la façon suivante : Partie-Partie-Tout. La question porte sur le Tout. Il met en scène une situation déjà expérimentée par les élèves puisqu'il s'agit d'un trajet à effectuer entre deux lieux. Il leur est demandé de trouver la distance entre ces deux lieux. L'énoncé comporte 4 phrases et 4 données numériques. Deux données numériques sont inutiles pour atteindre la solution.

Voici l'énoncé du deuxième problème de type Combinaison :

« Monsieur et Madame Sylvestre partent en vacances. Ils parcourent 250 km puis s'arrêtent pour déjeuner dans un restaurant à 12 □ le repas. L'après-midi, ils parcourent 378 km et arrivent à 18h sur leur lieu de vacances. Combien de km ont-ils parcourus ? »

Le troisième problème de type Combinaison a une structure Tout-Partie-Partie qui porte sur deux collections d'images. La question concerne l'une des parties. Le texte est constitué de 4 phrases. La donnée numérique relative au tout est signalée par le mot « ensemble ».

Voici l'énoncé de ce troisième problème de type Combinaison :

« *Sylvain et Sophia collectionnent des images. Ensemble, ils en ont 276. Sylvain possède 142 images. Combien d'images Sophia possède-t-elle ?* »

Le tableau II récapitule les problèmes arithmétiques simples proposés aux élèves lors de la première phase de recueil des données ainsi que l'ordre dans lequel ils apparaissent dans le fascicule proposé aux élèves.

Ordre des problèmes	Type de problèmes	Structure	Inconnu
1	Combinaison	Partie-Partie-Partie-Partie-Tout	Tout
2	Changement	État initial / Transformation négative / Etat final	État final
3	Combinaison	Partie-Partie-Tout	Tout
4	Changement	État initial / Transformation négative / Etat final	Etat initial
5	Combinaison	Tout-Partie-Partie	Partie
6	Changement	État initial / Transformation négative / Etat final	Transfor- mation

Tableau 4.2 : Récapitulatif des problèmes arithmétiques simples de la première phase

Le fascicule individuel proposé aux élèves présents lors de la première phase se trouve en annexe I.

4.2.2. Codage des réponses

Les élèves devaient, dans cette première phase de la recherche, répondre à huit questions de compréhension après lecture du texte narratif et résoudre six problèmes arithmétiques simples.

Pour l'épreuve de compréhension, nous n'avons pas fait le choix de pondérer les réponses selon qu'il s'agissait d'une question relative à un segment du texte ou à la globalité du texte. Ainsi, chaque élève s'est vu attribué une note comprise entre 0 à 8.

Pour l'épreuve de résolution de problèmes arithmétiques simples, chaque élève s'est vu attribué une note allant de 0 à 6. Les erreurs de calcul ne sont pas prises en considération. Si d'une part, le choix de l'opération est correct et d'autre part, les nombres utilisés pertinents alors la résolution est considérée comme réussie. En annexe 2 sont regroupés les résultats des 239 élèves présents lors de la première phase.

4.2.3. Conditions de passation des épreuves de la phase 1

Les consignes de passation des épreuves de cette première phase ont été proposées aux enseignants de façon orale mais aussi de façon écrite. Une semaine avant le début de chaque épreuve, je me suis rendu dans les différentes écoles pour leur expliquer ce que j'attendais d'eux. De plus, le matériel proposé aux élèves était accompagné d'une note d'informations qui reprenait les principaux éléments du déroulement des épreuves. Ces précautions ont été nécessaires pour permettre une certaine homogénéité des conditions dans lesquelles les épreuves allaient se dérouler.

Nous avons insisté auprès des enseignants pour qu'elles se déroulent en tout début de matinée et en début de semaine. La plupart des élèves ont donc passé ces épreuves le lundi 9 février 2009. Les autres élèves les ont passées le mardi 10 février 2009.

Il a été précisé aux enseignants de commencer par donner aux élèves les problèmes arithmétiques. Cette épreuve ne devait pas excéder 45 minutes. Lorsqu'ils avaient terminé, les élèves devaient patienter. Ils devaient commencer la seconde épreuve en même temps et cela pour une durée maximale de 30 minutes. Aucune aide ne devait être donnée par les professeurs dont les rôles principaux étaient d'une part, de clarifier les consignes si cela était nécessaire et d'autre part, de veiller au bon déroulement des épreuves. Nous pensons en particulier à l'utilisation possible de feuilles de brouillon pour l'épreuve de mathématiques et au fait qu'il y avait la possibilité pour les élèves de cocher le

choix « Je ne sais pas répondre. » pour l'épreuve de compréhension du texte narratif.

4.3. Phase 2

4.3.1. Élaboration des deux premiers problèmes complexes

Notre recherche a débuté lors de l'année universitaire 2006-2007 et au départ, deux problèmes arithmétiques complexes avaient retenu notre attention. Ce sont deux problèmes arithmétiques complexes que je propose régulièrement à mes élèves de CM1. Il s'agit d'une part, du problème des « Arbres » et d'autre part du problème de « Gargantua ».

4.3.1.1. Premier problème : Les Arbres

Le premier problème complexe s'inspire d'un problème extrait d'un manuel de mathématiques destiné aux élèves de CE2 dont voici l'énoncé original :

« Dans une forêt, on compte 1 245 chênes et 987 sapins. Une tempête a déraciné 654 chênes et 379 sapins. Combien reste-t-il d'arbres debout après le passage de la tempête ? »

Puisque nous nous adressons à des élèves de CM1, nous avons voulu complexifier ce premier énoncé en introduisant une nouvelle espèce d'arbre : le châtaignier. La première transformation subie par cet énoncé aboutit donc à l'énoncé suivant :

« Dans une forêt, on compte 1 245 chênes, 987 sapins et 687 châtaigniers. Une tempête a déraciné 654 chênes, 379 sapins et 168 châtaigniers. Combien reste-t-il d'arbres debout après le passage de la tempête ? »

Cette nouvelle version de l'énoncé a fait l'objet d'une étude exploratoire puisqu'elle a été proposée à 14 élèves de CM1 au cours de la première moitié de l'année scolaire 2008-2009 lors de la séance hebdomadaire de résolution de problèmes arithmétiques. Ces élèves n'ont participé à aucune des deux phases de la recherche par la suite.

Au cours de cette séance particulière, aucune aide ne leur avait été apportée. Plus de la moitié des élèves a éprouvé des difficultés à le résoudre.

Cet énoncé a subi une nouvelle transformation à partir des indications proposées par les élèves. D'un point de vue lexical, des termes ont été remplacés. Il s'agit, entre autres, du verbe « déraciner ». Le verbe d'action initial a été remplacé par le verbe « arracher » comme cela est précisé dans le tableau 4.3.

Élèves	Verbe à remplacer	Propositions des élèves
5	déraciner	Absence de réponse
1	déraciner	casser
1	déraciner	déterrer
7	déraciner	arracher

Tableau 4.3 : Propositions des élèves pour améliorer l'énoncé.

Une autre difficulté a été rencontrée par les élèves. Elle réside dans la formulation de la question et l'utilisation du verbe « rester » qui est fortement associée à la soustraction. Dans notre énoncé, ce verbe est redondant puisqu'il y a déjà le verbe « déraciner ». Nous avons opté pour une formulation davantage neutre.

En tenant compte de la difficulté des élèves à donner une signification aux noms des arbres, de leurs propositions lexicales pour faciliter la compréhension de l'énoncé mais aussi dans un souci de se rapprocher de la réalité connue des élèves de la Réunion, une nouvelle proposition d'énoncé s'est imposée.

« Dans une forêt, il y avait, 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers. Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers. Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ? ».

Cet énoncé subira une nouvelle transformation. Elle concernera les données numériques utilisées. Ce problème arithmétique complexe est essentiel car il a servi de base à l'élaboration de deux autres problèmes isomorphes.

Notre intérêt pour cet énoncé est double car, outre le fait qu'il soit complexe, il laisse le choix aux élèves entre deux principales procédures.

Premièrement, ce problème peut être considéré comme un problème de type Changement dont la transformation est négative et l'inconnu est l'état final. L'état initial et la transformation de ce problème sont les résultats de deux problèmes de type Combinaison dont les inconnus sont relatifs au Tout. Sa résolution nécessite donc tout d'abord la résolution de deux problèmes de type Combinaison.

Deuxièmement, ce problème peut être considéré comme un problème de type Combinaison (Parties-Tout) dont l'inconnu est le Tout. Les valeurs numériques associées aux Parties sont les résultats de problèmes de type Changement. Et ces problèmes de type Changement doivent être résolus au préalable.

Les connaissances schématiques nécessaires à la compréhension et à la résolution de ce problème sont présentées dans le tableau 4.4.

Énoncé	Organisation schématique	
<p>Dans une forêt, il y avait, 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers. Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers. Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?</p>	n°1	
	<p>1 schéma TRANSFERT État initial Transformation négative État final</p>	<p>2 Schémas PARTIE-TOUT</p>
	n°2	
	<p>1 schéma PARTIE-TOUT</p>	<p>3 schémas TRANSFERT État initial Transformation négative État final</p>

Tableau 4.4 : Connaissances schématiques nécessaires à la résolution du problème « Arbres ».

D'un point de vue théorique, le processus général de la compréhension de cet énoncé aboutit à l'élaboration d'une représentation qui s'organise autour de connaissances arithmétiques telles que les schémas de problèmes TRANSFERT et PARTIES-TOUT.

Selon la première organisation, le premier niveau d'activation et d'instanciation des schémas de problème concerne deux schémas PARTIE(x2)-TOUT. Le deuxième niveau d'abstraction, quant à lui, est relatif au schéma TRANSFERT.

Selon la deuxième organisation, le premier niveau d'abstraction concerne l'activation et l'instanciation de trois schémas TRANSFERT et le deuxième niveau d'abstraction est relatif à un schéma PARTIE (x3)-TOUT.

À ces deux organisations schématiques sont associées des procédures de résolution qui sont détaillées dans le tableau 4.5.

Point de vue	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Résultat
1	$1\ 245 + 987 + 687$ $=$ $2\ 919$	$654 + 379 + 168$ $=$ $1\ 201$	$2\ 919 - 1\ 201$ $=$ $1\ 718$		1 718 arbres restent debout après le passage du cyclone.
2	$1\ 245 - 654$ $=$ 591	$987 - 379$ $=$ 608	$687 - 168$ $=$ 519	$591 + 608 + 519$ $=$ $1\ 718$	1 718 arbres restent debout après le passage du cyclone.

Tableau 4.5 : Détails des procédures attachées aux deux organisations schématiques.

4.3.1.2. Deuxième problème : Gargantua

Le deuxième énoncé que nous souhaitons proposer aux élèves de CM1 s'inspire, une fois encore, d'un énoncé extrait d'un manuel scolaire. Cette fois-ci, ce manuel scolaire est directement destiné aux élèves de CM1. L'énoncé original est proposé ci-dessous.

« Au cours d'un banquet, Gargantua a mangé un lapin de 5 kg, un porcelet de 16 kg, un agneau de 24 kg et un veau de 85 kg. Il a bu un tonneau de vin. Il pesait 225 kg au début du repas. À la fin, il pesait 390 kg. Quelle masse de vin a-t-il bue ? »

Dès le départ, nous avons apporté quelques modifications à cet énoncé. Nous avons fait le choix de supprimer le mot « tonneau » en ne parlant que d'éléments solides et apporté une précision sur le personnage central. Nous voulions également savoir comment les élèves allaient comprendre la question formulée dans sa version originale. Elle n'a donc pas fait l'objet d'une modification et la première version modifiée de cet énoncé est le suivant :

« Au cours d'un banquet, le géant Gargantua a avalé un lapin de 6 kg, un porcelet de 16 kg, un agneau de 24 kg, un veau de 88 kg et une grande quantité de pommes. Il pesait 225 kg au début du repas et 390 kg à la fin du repas. Quelle masse de pommes Gargantua a-t-il mangée ? »

Comme pour le problème « Arbres », l'énoncé ci-dessus a fait l'objet d'une étude exploratoire. Il a donc été proposé aux mêmes 14 élèves de CM1 lors de l'année scolaire 2008-2009.

Ce problème a posé d'énormes difficultés aux élèves puisqu'un seul d'entre eux a réussi à le résoudre. Grâce à l'aide de ces mêmes élèves, l'énoncé a été modifié. Il a subi des transformations pour aboutir à l'énoncé ci-dessous.

« Au cours d'un grand repas, le géant Gargantua a avalé un lapin de 5 kg, un porcelet de 16 kg, un agneau de 24 kg, un veau de 85 kg et une grande quantité de pommes. Il pesait 225 kg au début du repas et 390 kg à la fin du repas. Combien de kg de pommes Gargantua a-t-il avalés ? »

Cet énoncé correspond à l'énoncé d'un problème complexe puisqu'il combine différents types de problème.

Il s'agit premièrement d'un problème de type Combinaison et d'un problème de type Changement. Le problème de type Combinaison admet 5 parties (lapin, porcelet, agneau, veau et pommes) et un Tout. L'inconnu, dans ce problème de type Combinaison, est l'une des parties (pommes). Le Tout, quant à lui, est le résultat d'un problème de type Changement. Il correspond à une transformation positive (un gain de masse) qu'il s'agit de déterminer en effectuant une soustraction.

Ensuite, ce problème complexe peut être vu comme une combinaison d'un premier problème de type Combinaison, d'un problème de type Changement et d'un deuxième problème de type Combinaison. Le premier problème de type Combinaison admet 4 parties (lapin, porcelet, agneau et veau) et un Tout qu'il est possible de trouver. Le problème de type Changement est le même que précédemment. Le second problème de type Combinaison admet 2 parties et un Tout. Dans ce problème, le Tout est connu et il s'agit de trouver l'une des parties.

Enfin, il existe un troisième point de vue qui combine un problème de type Combinaison original et un problème de type Changement. Le problème de type Combinaison admet 5 parties (masse de Gargantua, masse du lapin, masse du porcelet, masse de l'agneau et masse du veau) et le Tout qu'il est possible de déterminer. Le problème de type Changement correspond à transformation positive qu'il faut trouver. L'état initial et l'état final sont connus.

Ces différentes structures sont associées à différentes organisations schématiques en mémoire de travail. Elles sont précisées dans le tableau 4.6.

Énoncé		
<i>Au cours d'un banquet, le géant Gargantua a avalé un lapin de 6 kg, un porcelet de 16 kg, un agneau de 24 kg, un veau de 88 kg et une grande quantité de pommes. Il pesait 225 kg au début du repas et 390 kg à la fin du repas. Quelle masse de pommes Gargantua a-t-il mangée ?</i>		
Organisation 1		
1 Schéma PARTIE (x5) -TOUT	1 Schéma TRANSFERT État initial Transformation positive État final	
Organisation 2		
1 Schéma PARTIE (x4) -TOUT	1 Schéma TRANSFERT État initial Transformation positive État final	1 Schéma PARTIE (x2) -Tout
Organisation 3		
1 Schéma PARTIE (x4) -TOUT	1 Schéma TRANSFERT État initial Transformation positive État final	

Tableau 4.6 : Détails des différentes organisations schématiques en mémoire de travail.

Chacune de ces organisations est attachée à une procédure. Les trois procédures sont proposées dans le tableau 4.7.

Organisations	Procédures			Résultat
1	1	2		
	$390 - 225$ $=$ 165	$6 + 16 + 24 + 88 + ?$ $=$ 165		
2	1	2	3	Gargantua a avalé 31 kg de pommes
	$6 + 16 + 24 + 88$ $=$ 134	$390 - 225 =$ 165	$165 - 134 = 31$	
3	1	2		Gargantua a avalé 31 kg de pommes
	$6 + 16 + 24 + 88 + 225$ $=$ 359	$390 - 359 = 31$		

Tableau 4.7 : Détails des procédures associées aux différentes organisations schématiques.

À regarder de plus près, les organisations 1 et 2 sont très proches. La différence réside dans l'ordre des différentes étapes. En effet, pour trouver la solution au problème en utilisant la procédure 1, il est presque nécessaire de revenir à un problème de type Combinaison auquel il faut faire correspondre un schéma PARTIES (x4)-TOUT.

4.3.1.3. Problèmes bruts et problèmes aidés

L'objectif de cette recherche, nous le rappelons est triple : impact du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, impact du niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples et enfin, impact de l'apport de questions visant à activer et organiser les connaissances schématiques des différents niveaux d'abstraction. Au regard de ces trois objectifs, les deux problèmes arithmétiques complexes de la section précédente sont satisfaisants.

Il suffit, à présent, de construire deux autres énoncés en y ajoutant les questions pertinentes.

Ainsi, nous disposons quatre énoncés : deux énoncés bruts et deux énoncés dans une version aidée. Ces deux derniers énoncés sont proposés ci-dessous.

Problème « Arbres » version aidée :

Dans une forêt, il y avait 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers.
Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers.

- 1) **Combien d'arbres y avait-il avant le passage du cyclone ?**
- 2) **Combien d'arbres ont été arrachés par le passage du cyclone ?**
- 3) **Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?**

Problème « Gargantua » version aidée :

Au cours d'un grand repas, le géant Gargantua a avalé un lapin de 5 kg, un porcelet de 16 kg, un agneau de 24 kg, un veau de 85 kg et une grande quantité de pommes. Il pesait 225 kg au début du repas et 390 kg à la fin du repas.

- 1) **Combien de kg de viande Gargantua a-t-il avalés ?**
- 2) **Combien de kg de nourriture Gargantua a-t-il avalés ?**
- 3) **Combien de kg de pommes Gargantua a-t-il avalés ?**

4.3.2. Choix définitif des problèmes complexes

4.3.2.1. Deux versions aidées du problème « Arbres »

Nous disposons de 4 énoncés de problèmes complexes. Bien que combinant uniquement des problèmes de type Combinaison et Changement, le problème « Gargantua » semble à priori beaucoup plus difficile à résoudre que le problème « Arbres » et les résultats des 14 élèves ayant résolu ces deux problèmes arithmétiques lors de la phase exploratoire vont dans ce sens. Le choix a été fait d'abandonner le second problème.

La focalisation sur le premier problème s'est d'autant plus imposée que le choix des questions proposées dans la version aidée est arbitraire. En effet, elles correspondent à l'élaboration d'une représentation en accord avec l'organisation schématique 1 (tableau V). Ainsi, les questions associées à l'élaboration d'une

représentation correspondant davantage à l'organisation 2 n'ont pas été prises en considération. Le choix a été fait de proposer, finalement, deux versions aidées. Nous disposons donc d'un énoncé de problème complexe brut ainsi que deux versions aidées de ce même problème.

Problème 1 brute :

Dans une forêt, il y avait, 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers. Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers. Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Problème 1 version aidée 1 :

Dans une forêt, il y avait 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers. Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers.

- 1. Combien d'arbres y avait-il avant le passage du cyclone ?**
- 2. Combien d'arbres ont été arrachés par le passage du cyclone ?**
- 3. Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?**

Problème 1 version aidée 2 :

Dans une forêt, il y avait, 1 245 cocotiers, 987 manguiers et 687 bananiers. Un cyclone a arraché 654 cocotiers, 379 manguiers et 168 bananiers.

- 1) Combien de cocotiers sont encore debout après le passage de cyclone ?**
- 2) Combien de manguiers sont encore debout après le passage du cyclone ?**
- 3) Combien de bananiers sont encore debout après le passage du cyclone ?**
- 4) Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?**

4.3.2.2. Problème « Arbres » et ses isomorphes

Nous disposons de trois versions d'un même problème arithmétique complexe. Elles pourraient être suffisantes au regard des trois opérationnalisations de notre hypothèse générale. Pourtant, trois éléments vont nous orienter vers la construction de deux autres problèmes arithmétiques complexes isomorphes au problème « Arbres ».

Le premier élément concerne la première opérationnalisation de notre hypothèse. L'énoncé de ce premier problème proposé dans sa version brute est plutôt court. Elle contient 16 propositions. De plus, cet énoncé a été transformé facilitant son traitement. Il serait intéressant, au regard de cette première opérationnalisation, de proposer des versions isomorphes à celui-ci dans lesquelles le nombre de propositions serait plus important. Nous avons finalement construit deux autres problèmes complexes pour lesquels la traduction propositionnelle aboutit à un plus grand nombre de propositions.

Le troisième problème construit contient précisément 27 propositions et nécessite également l'élaboration d'inférences passerelles afin de combler les « trous sémantiques » puisque plusieurs ellipses y sont présentes. L'élaboration de ces inférences de liaison se situe au niveau local du niveau sémantique de la représentation. Qu'il s'agisse d'un texte narratif ou d'un énoncé de problème arithmétique l'élaboration de ces dernières sont essentielles.

Le deuxième élément déterminant qui nous a orienté vers la construction d'autres problèmes réside dans le fait que dans la littérature, il existe une accumulation de résultats indiquant que des problèmes identiques du point de vue de la structure conceptuelle pouvaient être traités différemment. Il s'agit d'un courant de recherche se focalisant sur la résolution de problèmes isomorphes. Les éléments de surface des énoncés joueraient donc un rôle déterminant dans le traitement des énoncés.

Enfin, du point de vue de la thèse défendue, valider notre hypothèse générale à partir de trois énoncés différents serait un signe de sa robustesse.

Finalement, nous avons construit 3 problèmes arithmétiques complexes. Et pour chacun d'eux, deux versions aidées sont proposées. Les trois énoncés bruts sont détaillés ci-dessous.

Problème 1 brut

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Problème 2 brut :

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée de mercredi ?

Problème 3 brut

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

4.3.2.3. Comparaison des trois énoncés bruts

Nous avons choisi de mettre à l'épreuve des faits notre hypothèse générale en utilisant trois problèmes arithmétiques complexes isomorphes entre eux. Notre but cependant n'est pas tant d'étudier l'impact des formulations des énoncés. C'est la raison pour laquelle, les énoncés ont été construits relativement de la même façon.

Il s'agit précisément de comparer les énoncés en tenant compte d'une part, de l'agencement des phrases et d'autre part, des structures syntaxiques utilisées

D'un point de vue syntaxique, les deux premiers problèmes se ressemblent. Comme cela est indiqué dans le tableau VIII, la première phrase est constituée d'une part, d'un groupe de mots donnant une information qui précise un lieu et d'autre part, une énumération de trois objets associés à des données numériques à trois chiffres. Ces groupes de mots sont mis en relation par la présence d'un verbe écrit à l'imparfait.

Les Phrases 1			
	Lieu	Verbe	Complément énumératif
Problème 1	Dans une forêt	avait	146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers
Problème 2	La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre	comptait	156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums

Tableau 4.8 : Comparaison de la première phrase des deux premiers problèmes.

Il faut reconnaître malgré tout que la construction du sens pourrait être plus délicate dans le deuxième problème puisque la structure prédicative associée au prédicat COMPTER [Agent, Objet] suppose que ce soit une personne qui compte les objets. Or ici, il s'agit de la bibliothèque.

La deuxième phrase est organisée autour d'un verbe d'action conjugué au passé composé qui précise qu'il s'agit d'une transformation négative. Cette phrase contient également une énumération. Il s'agit des mêmes objets décrits dans la première phrase. Le tableau 4.9 reprend ces différents éléments.

Les Phrases 2			
	Sujet	Verbe	Complément énumératif
Problème 1	Un cyclone	a arraché	24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers
Problème 2	Des enfants	ont emprunté	32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums

Tableau 4.9 : Comparaison de la deuxième phrase des deux premiers problèmes.

Le problème 2 comporte une troisième phrase qui a pour but de faciliter l'accès à la signification du mot « emprunter ». Les informations contenues dans cette troisième phrase du problème 2 brut sont redondantes.

Les questions qui sont précisées dans le tableau 4.10 sont également construites de façon identique. En effet, il n'y a pas de mots inducteurs comme « en tout » qui sont souvent employés dans les manuels scolaires. Ces questions sont donc neutres. Par contre, il y a la présence de mots dont les significations sont liées sémantiquement par une relation d'inclusion : d'une part les cocotiers, les bananiers et les manguiers sont des sous-classes de la classe des arbres et d'autre part les bandes dessinées, les albums et les romans sont des sous-classes de la classe des livres.

Les questions	
Problème 1 brut	Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?
Problème 2 brut	Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée de mercredi ?

Tableau 10 : Comparaison des questions des deux premiers problèmes.

Le problème 3 est isomorphe aux deux problèmes précédents. Cependant, il est beaucoup moins proche du point de vue de sa construction. En effet, Une première phrase s'impose pour préciser la façon dont le parking est construit. Ainsi, des précisions d'ordre topologique sont apportées.

Ensuite, les phrases se ressemblent davantage dans le sens où il y a une énumération suivie d'une transformation négative introduite par le verbe « quitter » et à nouveau une énumération.

Un autre élément distingue les deux premiers problèmes du troisième : il n'y a pas de relation sémantique de type inclusif dans le dernier problème entre les concepts mis en jeu puisqu'il est question essentiellement de voitures.

Enfin, ce troisième énoncé se distingue des deux précédents car lors de son écriture ellipses ont été utilisées. Elles ont été introduites pour dissocier les lecteurs experts des lecteurs non-experts.

4.3.2.4. Traduction propositionnelle des trois énoncés bruts

Il est essentiel de comparer le nombre de mots utilisés et les propositions qu'il est possible d'extraire directement des énoncés. Le nombre de propositions est essentiel également car des études ont montré l'importance psychologique de ces dernières. Au chapitre 2, les études de Ratcliff et McKoon (1978) ou encore

celles de Kintsch et Keenan (1973) ont été précisées. Le nombre de propositions de chacun des énoncés a été déterminé à la suite de la traduction propositionnelle des énoncés bruts qui se trouvent respectivement aux pages 27, 29 et 31. Certaines propositions ont été surlignées en vert ou en jaune. Elles concernent certaines inférences passerelles.

Celles qui sont en vert ne sont pas directement extraites des énoncés. Elles sont créées à la suite de la mise en œuvre d'un processus inférentiel. Ce processus inférentiel est indispensable car certaines ellipses relatives aux actions sont présentes. Elles sont dues aux énumérations.

Celles qui sont en jaune sont également créées. Elles sont nécessaires car certaines ellipses relatives aux objets de l'énoncé sont présentes. Ces dernières sont uniquement présentes dans l'énoncé « Voitures ». Il est important de préciser que les propositions surlignées en jaune dépendent des propositions surlignées en vert.

De plus, la théorie de Kintsch (1978, 1983 et 1988) est une théorie propositionnelle. La traduction propositionnelle des textes est donc au cœur de cette théorie.

Les tableaux XI, XII et XIII précisent les traductions propositionnelles des énoncés « Arbres », « Livres » et « Voitures ». Les macropropositions ne s'y trouvent pas.

Traduction propositionnelle du problème « Arbres » brut.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers.
<p>P1 : DANS [FORÊT] P2 : 146 [COCOTIER] P3 : AVOIR [P2] P4 : 175 [MANGUIER] P5 : AVOIR [P4] P6 : 248 [BANANIER] P7 : AVOIR [P6]</p>
Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.
<p>P8 : ARRACHER [CYCLONE, P9] P9 : 24 [COCOTIER] P10 : ARRACHER [CYCLONE, P11] P11 : 42 [MANGUIER] P12 : ARRACHER [CYCLONE, P13] P13 : 35 [BANANIER]</p>
Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?
<p>P14 : COMBIEN [15] P15 : ENCORE [P16] P16 : DEBOUT [ARBRE] P17 : APRES [P18] P18 : CYCLONE [PASSAGE]</p>

Tableau 4.11 : Traduction propositionnelle du problème « Arbres » brut.

Traduction propositionnelle du problème « Livres » brut.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums.
<p>P1 : BIBLIOTHEQUE [P2] P2 : SAINT-PIERRE [VILLE] P3 : MERCREDI [MATIN] P4 : COMPTER [P5] P5 : 156 [ROMAN] P6 : COMPTER [P7] P7 : 185 [BANDE DESSINE] P8 : COMPTER [P9] P9 : 247 [ALBUM]</p>
Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums dans la journée.
<p>P10 : EMPRUNTER [ENFANT, P11] P11 : 32 [ROMAN] P12 : EMPRUNTER [ENFANT, P13] P13 : 51 [BANDE DESSINEE] P14 : EMPRUNTER [ENFANT, P15] P15 : 35 [ALBUM] P16 : DANS [JOURNEE]</p>
Ils les ont emmenés chez eux.
<p>P17 : EMMENER [ILS, LES] P18 : CHEZ [EUX]</p>
Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée de mercredi ?
<p>P19 : COMBIEN [LIVRE] P20 : ENCORE [21] P21 : DANS [BIBLIOTHEQUE] P20 : JOURNEE [FIN] P21 : MERCREDI [P20]</p>

Tableau 4.12 : Traduction propositionnelle du problème 2 brut.

Traduction propositionnelle du problème « Voitures » brut.

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux.

P1 : GRAND [PARKING]
P2 : PAYANT [PARKING]
P3 : NEW YORK [CENTRE VILLE]
P4 : CONSTRUIRE [PARKING, P5]
P5 : TROIS [NIVEAU]

Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau.

P6 : VENDREDI [MATIN]
P7 : OUVERTURE [Parking]
P8 : 139 [VOITURE]
P9 : NIVEAU [PREMIER]
P10 : SE GARER [P8, P9]
P11 : 146 [VOITURE]
P12 : NIVEAU [DEUXIEME]
P13 : SE GARER [P11, P12]
P14 : 153 [VOITURE]
P15 : NIVEAU [TROISIEME]
P16 : SE GARER [P14, P15]

En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

P17 : MATINEE [FIN]
P18 : 16 [VOITURES]
P19 : QUITTER [P18, P9]
P20 : 22 [VOITURE]*
P21 : QUITTER [P20, P12]
P22 : 25 [VOITURE]*
P23 : QUITTER [P22, P15]

Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

P24 : COMBIEN [P25]
 P25 : ENCORE [P26]
 P26 : VOITURE [GAREE]
 P27 : SUR [PARKING]
 P28 : MATINEE [FIN]

Tableau 4.13 : Traduction propositionnelle du problème « Voitures » dans la version brute.

Certaines propositions associées à ce dernier énoncé sont difficiles à classer. C'est le cas précisément de P7, P20 et P22. En effet, leur prédicat sont des concepts évoqués dans l'énoncé. En revanche, leurs arguments ne s'y trouvent pas.

Le tableau 4.14 récapitule certaines des caractéristiques des trois énoncés de problèmes bruts.

Problème	Nombre de phrases	Nombres de mots	Nombre de propositions			Autres éléments
			Extraites directement	Inférences passerelles		
				Énumération	objets	
Les arbres	3	35	14	4	0	3 objets
Les livres	4	55	19	4	0	3 objets
Les voitures	4	68	23	6	2	1 objet

Tableau 4.14 : Caractéristiques des trois énoncés bruts.

4.3.3. Problèmes arithmétiques complexes définitifs

La validation de notre hypothèse générale se fera à partir de 9 problèmes arithmétiques complexes. Trois problèmes sont proposés dans une version brute. Cela signifie qu'aucune aide n'est apportée aux sujets. Trois autres problèmes sont proposés dans une première version aidée. Et enfin, trois autres problèmes sont proposés dans une deuxième version aidée.

4.3.3.1. Problèmes « Arbres »

Problème « Arbres » brut

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Problème « Arbres » version aidée 1

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

- 1) Combien d'arbres y avait-il avant le passage du cyclone ?
- 2) Combien d'arbres ont été arrachés par le passage du cyclone ?
- 3) Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Problème « Arbres » version aidée 2

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

- 1) Combien de cocotiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 2) Combien de manguiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 3) Combien de bananiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 4) Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

4.3.3.2. Problèmes « Livres »

Problème « Livres » brut :

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux. Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée de mercredi ?

Problème « Livres » version aidée 1

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de livres y avait-il dans la bibliothèque le mercredi matin ?
- 2) Combien de livres les enfants ont-ils empruntés dans la journée ?
- 3) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?

Problème « Livres » version aidée 2

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de romans sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?
- 2) Combien de bandes dessinées sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?
- 3) Combien d'albums sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?
- 4) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?

4.3.3.3. Problèmes « Voitures »

Problème « Voitures » brut

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

Problème « Voitures » version aidée 1

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

- 1) Combien de voitures sont garées sur ce parking lorsqu'il ouvre ?
- 2) Combien de voitures quittent ce parking en fin de matinée ?
- 3) Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

Problème « Voitures » version aidée 2

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le mercredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

- 1) Combien de voitures sont encore garées sur le premier niveau du parking en fin de matinée ?
- 2) Combien de voitures sont encore garées sur le deuxième niveau du parking en fin de matinée ?

- 3) Combien de voitures sont encore garées sur le troisième niveau du parking en fin de matinée ?
- 4) Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

4.3.3.4. Traitement des données recueillies

Les données recueillies ont fait l'objet d'un traitement. Différents tableaux ont été constitués sous Excel et des codes différents ont été utilisés pour traiter distinctement les problèmes bruts, aidés1 et aidés 2 .

Problèmes bruts :

Proc 1 : les sujets commencent par effectuer 2 additions et terminent par une soustraction.

Proc 2 : Les sujets commencent par effectuer 3 soustractions puis terminent par une addition.

Ecal proc 1 : En choisissant la procédure 1, les élèves ont fait des erreurs de calcul.

Ecal proc 2 : En choisissant la procédure 1, les élèves ont fait des erreurs de calcul.

Partiel 1 : La procédure 1 est incomplète (les 2 additions sont faites mais pas la soustraction).

Partiel 1 ina : La procédure 1 est très incomplète (1 seule addition est effectuée).

Partiel 1 + op : Les deux additions sont effectuées mais les élèves terminent par une opération autre que la soustraction pertinente.

Partiel 1 ina + op : Une seule des deux additions de la procédure 1 est effectuée. Elle s'accompagne d'un autre calcul non pertinent.

Partiel 2 : La procédure 2 est incomplète (les trois soustractions sont faites mais pas l'addition finale.

Partiel 2 ina : La procédure 2 est très incomplète (seulement 1 ou 2 soustractions sont effectuées).

Partiel 2 + op : Les 3 soustractions de la procédure 2 sont faites. Elles s'accompagnent d'une autre opération non pertinente.

Partiel 2 in a + op : 1 ou 2 soustractions sont faites. Elles sont accompagnées d'une autre opération non pertinente.

Proc mixte : La première addition de la procédure 1 est faite. Elle s'accompagne de 3 soustractions successives à partir du résultat de cette première addition.

Autre : Procédure pour laquelle il a été difficile de donner une interprétation.

Problèmes version aidée 1 :

r1ok : Bon résultat à la première question posée.

Ecalr1 : Erreur de calcul à la première question posée.

Abs : Absence de réponse à la première question posée.

Autre : Procédure ne correspondant pas à la première question posée.

r2ok : Bon résultat à la deuxième question posée.

Ecalr2 : Erreur de calcul à la deuxième question posée.

Abs : Absence de réponse à la deuxième question posée.

Autre : Procédure ne correspondant pas à la deuxième question posée.

r3ok : Bon résultat à la question finale.

Ecalr3 : Erreur de calcul dans la soustraction finale.

Ecalr1r2 : Le calcul final est correct, mais les élèves utilisent des résultats incorrects obtenus lors des deux premières questions.

Abs : Absence de réponse à la question finale.

Partiel 2 : En dépit des questions allant dans le sens de l'utilisation de la procédure 1, les élèves effectuent les trois soustractions de la procédure 2 sans tenir compte des résultats des deux questions précédentes.

Proc 2 : Les élèves mettent en œuvre la procédure 2 sans tenir compte des questions 1 et 2 imposant l'utilisation de la procédure 1.

Autre : Les élèves utilisent des procédures qui n'aboutissent pas à la solution du problème.

Problèmes version aidée 2 :

r1ok : Résultat correct à la première question de la procédure 2.

Ecalr1 : Erreur de calcul lors de la première soustraction correspondant à la première question de la procédure 2.

Abs : Absence de réponse à la première question de la procédure 2.

Autre : La procédure utilisée par les élèves ne correspondent pas à la première question posée de la procédure 2.

R2ok : Résultat correct à la deuxième question de la procédure 2.

Ecalr2 : Erreur de calcul lors de la soustraction correspondant à la deuxième question de la procédure 2.

Abs : Absence de réponse à la deuxième question de la procédure 2.

Autre : La procédure utilisée par les élèves ne correspondent pas à la deuxième question posée de la procédure 2.

R3ok : Résultat correct à la troisième question de la procédure 2.

Ecalr3 : Erreur de calcul lors de la soustraction correspondant à la troisième question de la procédure 2.

Abs : Absence de réponse à la troisième question de la procédure 2.

Autre : La procédure utilisée par les élèves ne correspondent pas à la troisième question posée de la procédure 2.

R4ok : Résultat correct à la question finale.

Ecalr4 : erreur dans le calcul final.

Ecalr1r2r3 : calcul final correct mais les élèves utilisent des nombres incorrects correspondant à des erreurs de calcul lors des questions précédentes.

Abs : Absence de réponse à la question finale.

Proc 1 : En dépit des questions imposant l'utilisation de la procédure 2, les élèves utilisent la procédure 1.

Autre : utilisation de procédures inadéquates pour répondre à la question finale.

4.3.4. Problèmes distracteurs

Tous les sujets de notre recherche doivent résoudre trois problèmes complexes arithmétiques complexes additifs. Ces trois problèmes sont isomorphes entre eux. Pour obliger les élèves à lire les énoncés et ne pas se contenter d'utiliser les mêmes procédures sans insister vraiment sur le moment de lecture, nous avons fait le choix d'introduire des problèmes distracteurs qui s'éloignent des problèmes que nous souhaitons étudier.

Les sujets doivent donc résoudre 5 problèmes arithmétiques : 3 problèmes complexes et 2 problèmes simples relevant spécifiquement du champ conceptuel multiplicatif. Ces deux problèmes multiplicatifs sont proposés ci-dessous.

Problème multiplicatif 1 :

L'année dernière, Monsieur Scott a acheté un nouveau vélo. Il a payé 154 € par mois pendant 6 mois.

Quel était le prix du nouveau vélo de Monsieur Scott ?

Problème multiplicatif 2 :

Monsieur Cascade est boulanger et il travaille tous les jours. Pour faire ses gâteaux, il a besoin de 84 œufs par jour.

Combien d'œufs doit-il acheter par semaine ?

L'ordre de résolution a été défini à l'avance : problème complexe brut, problème 1 multiplicatif, problème complexe version aidée 1, problème 2 multiplicatif et enfin, problème complexe version aidée 2.

4.3.5. Constitution des groupes

4.3.5.1. Importance de l'équivalence des groupes

Initialement nous devions faire appel à un seul problème arithmétique complexe proposé dans ses trois versions : brute, aidée 1 et aidée 2. Il était convenu de constituer également trois groupes d'élèves. Le groupe 1 aurait à résoudre la version brute, le deuxième la version aidée 1 et enfin le troisième la version aidée 2. Pour pouvoir éprouver notre hypothèse et en particulier valider la dernière opérationnalisation selon laquelle les versions aidées offrent de meilleures performances, il était essentiel de construire 3 groupes équivalents d'élèves. En effet, dans le cas d'une non-équivalence des groupes, il aurait été difficile par la suite d'apprécier l'impact des trois versions les unes par rapport aux autres et d'expliquer les taux de réussite différents au regard exclusif des différentes formulations puisqu'ils pourraient être dues aux caractéristiques différentes des groupes.

Cependant, obtenir l'équivalence parfaite des groupes reste difficile. Aussi, pour contourner cette difficulté, il a été décidé de proposer à tous les élèves les trois versions des problèmes complexes en construisant de nouveaux problèmes complexes en modifiant l'habillage initial. A ce niveau, l'équivalence des groupes n'est plus essentielle.

Nous avons choisi, trois variables indépendantes : le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples et les versions proposées aux élèves. Les deux premières variables dépendent des sujets. Comme cela vient d'être dit, éprouver notre hypothèse de façon globale n'exige pas l'équivalence des groupes. En

revanche, si nous voulons tenir compte des différents habillages alors l'équivalence des groupes devient à nouveau essentielle. Elle interviendra, cette fois-ci, seulement à un deuxième niveau d'analyse.

Ce sont tous des élèves de CM1. Cependant cette équivalence n'est pas suffisante. L'obtention de l'équivalence doit être faite également d'une part, au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples et d'autre part, au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs.

4.3.5.2. Équivalence des groupes et niveaux d'expertise en résolution de problèmes simples

L'équivalence est vérifiée également du point de vue du niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples à partir d'un calcul de χ^2 en utilisant le test de Pearson puisqu'il s'agit de fréquences. La répartition des effectifs dans les trois groupes selon le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples est proposée dans le tableau 4.15.

	Niveaux d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples			
	≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Groupe 1	16	17	45	78
Groupe 2	22	11	39	72
Groupe 3	19	12	43	74
	57	40	127	224

Tableau 4.15 : Répartition des effectifs des trois groupes selon le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples.

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	16	17	45	78
	Mod 2	22	11	39	72
	Mod 3	19	12	43	74
		57	40	127	224

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	19,84821429	13,92857143	44,22321429	78
	Mod 2	18,32142857	12,85714286	40,82142857	72
	Mod 3	18,83035714	13,21428571	41,95535714	74
		57	40	127	224

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	4
$\chi^2 =$	2,664263157

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ ($ddl = 4$, χ^2 lu = 9.488). Globalement, les trois groupes construits sont équivalents au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples.

Équivalence entre le groupe 1 et le groupe 2 :

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	16	17	45	78
	Mod 2	22	11	39	72
		38	28	84	150

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	19,76	14,56	43,68	78
	Mod 2	18,24	13,44	40,32	72
		38	28	84	150

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
$\chi^2 =$	2,425534991

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Les groupes G1 et G2 construits sont équivalents au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples.

Équivalence entre le groupe 1 et le groupe 3 :

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	16	17	45	78
	Mod 2	19	12	43	74
		35	29	88	152

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	17,96052632	14,88157895	45,15789474	78
	Mod 2	17,03947368	14,11842105	42,84210526	74
		35	29	88	152

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
------	---

$\chi^2 =$	1,060137377
------------	-------------

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Les groupes G1 et G3 construits sont équivalents au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples.

Équivalence entre le groupe 2 et le groupe 3 :

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	22	11	39	72
	Mod 2	19	12	43	74
		41	23	82	146

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	20,21917808	11,34246575	40,43835616	72
	Mod 2	20,78082192	11,65753425	41,56164384	74
		41	23	82	146

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
$\chi^2 =$	0,430795987

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Les groupes G2 et G3 construits

sont équivalents au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples.

4.3.5.3. Équivalence des groupes et niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs.

Il est important de vérifier l'équivalence des groupes du point de vue du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs. Cette vérification sera faite à partir d'un calcul de χ^2 en utilisant le test de Pearson. La répartition des effectifs dans les trois groupes selon le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs est proposée dans le tableau XVI.

	Niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Groupe 1	11	21	46	78
Groupe 2	27	14	31	72
Groupe 3	15	23	36	74
	53	58	113	224

Tableau 4.16 : Répartition des effectifs dans les trois groupes selon le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs.

Effectifs observés		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	11	21	46	78
	Mod 2	27	14	31	72
	Mod 3	15	23	36	74
		53	58	113	224

Effectifs
théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	18,45535714	20,19642857	39,34821429	78
	Mod 2	17,03571429	18,64285714	36,32142857	72
	Mod 3	17,50892857	19,16071429	37,33035714	74
		53	58	113	224

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	4
$\chi^2 =$	13,10845775

Le χ^2 calculé est largement supérieur au χ^2 lu dans la table au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl =4, χ^2 lu = 9.488). Ainsi, globalement, au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, les trois groupes ne sont pas équivalents.

4.3.5.3.1. Équivalence groupe 1 et groupe 2

Effectifs
observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	11	21	46	78
	Mod 2	27	14	31	72
		38	35	77	150

Effectifs
théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	19,76	18,2	40,04	78
	Mod 2	18,24	16,8	36,96	72
		38	35	77	150

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
$\chi^2 =$	10,83625804

Le χ^2 calculé est largement supérieur au χ^2 lu dans la table au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Ainsi, au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, les groupes 1 et 2 ne sont pas équivalents.

4.3.5.3.2. Équivalence groupe 1 et groupe 3

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	11	21	46	78
	Mod 2	15	23	36	74
		26	44	82	152

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	13,34210526	22,57894737	42,07894737	78
	Mod 2	12,65789474	21,42105263	39,92105263	74
		26	44	82	152

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
$\chi^2 =$	1,821804381

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Les groupes G1 et G3 construits sont globalement équivalents au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G1 et G3 selon les modalités ≤ 5 et = 6 :

Effectifs observés		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	11	21	32
	Mod 2	15	23	38
		26	44	70

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	11,88571429	20,11428571	32
	Mod 2	14,11428571	23,88571429	38
		26	44	70

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	0,193429104

Le χ^2 calculé est largement inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Les groupes G1 et G3 construits sont équivalents au regard des niveaux d'expertise ≤ 5 et = 6 en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G1 et G3 selon les modalités ≤ 5 et ≥ 7 :

Effectifs observés		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	11	46	57
	Mod 2	15	36	51
		26	82	108

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	13,72222222	43,27777778	57
	Mod 2	12,27777778	38,72222222	51
		26	82	108

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	1,506212281

Le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Les groupes G1 et G3 construits sont équivalents au regard des niveaux d'expertise ≤ 5 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G1 et G3 selon les modalités = 6 et ≥ 7 :

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	21	46	67
	Mod 2	23	36	59
		44	82	126

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	23,3968254	43,6031746	67
	Mod 2	20,6031746	38,3968254	59
		44	82	126

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	0,805732882

Le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Les groupes G1 et G3 construits sont équivalents au regard des niveaux d'expertise = 6 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs.

4.3.5.3.3. Équivalence groupe 2 et groupe 3

Effectifs observés

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	27	14	31	72
	Mod 2	15	23	36	74
		42	37	67	146

Effectifs théoriques

		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	20,71232877	18,24657534	33,04109589	72
	Mod 2	21,28767123	18,75342466	33,95890411	74
		42	37	67	146

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL=	2
$\chi^2 =$	5,964616961

Le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.991). Les groupes G2 et G3 construits sont globalement équivalents au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G2 et G3 selon les modalités ≤ 5 et = 6 :

Effectifs observés		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	27	14	41
	Mod 2	15	23	38
		42	37	79

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	21,79746835	19,20253165	41
	Mod 2	20,20253165	17,79746835	38
		42	37	79

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	5,511784983

Le χ^2 calculé est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Bien que globalement équivalents, les groupes G1 et G3 construits ne sont pas équivalents au regard des niveaux d'expertise ≤ 5 et = 6 en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G2 et G3 selon les modalités ≤ 5 et ≥ 7 :

Effectifs observés		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	27	31	58
	Mod 2	15	36	51
		42	67	109

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	22,34862385	35,65137615	58
	Mod 2	19,65137615	31,34862385	51
		42	67	109

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	3,36604683

Le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Les groupes G2 et G3 construits sont équivalents au regard des niveaux d'expertise ≤ 5 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs.

Équivalence G2 et G3 selon les modalités = 6 et ≥ 7 :

Effectifs observés		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	14	31	45
	Mod 2	23	36	59
		37	67	104

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	16,00961538	28,99038462	45
	Mod 2	20,99038462	38,00961538	59
		37	67	104

Calcul du χ^2 de Pearson

DDL = 1	
$\chi^2 =$	0,690215741

Le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841). Les groupes G2 et G3 construits sont équivalents au regard des niveaux d'expertise = 6 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs.

4.3.6. Conditions de passation des épreuves de la deuxième phase

Les conditions de passation de cette deuxième phase a fait l'objet d'une mise au point avec les enseignants. Je les ai donc rencontrés pour leur apporter des précisions et différents points ont été abordés.

- Le moment où allait se dérouler l'épreuve à savoir en début de semaine et en début de journée (le lundi 4 mai ou le mardi 5 mai) de l'année scolaire 2008-2009.
- L'ordre dans lequel les problèmes devaient être proposés : problème complexe brut, premier problème distracteur multiplicatif, problème complexe version aidée 1, deuxième problème distracteur mutiplicatif et enfin le problème complexe version aidée 2.
- La durée de l'épreuve : elle ne doit pas excéder les 60 minutes. Une tolérance de 5 à 10 minutes est malgré tout acceptée.
- Contrairement à la première phase, les documents proposés aux élèves ne sont pas groupés. Ils résolvent le premier problème puis rendent cette feuille pour commencer le deuxième problème et ainsi

de suite. Il n'est pas non plus utile d'attendre que l'ensemble des élèves ait fini le premier problème pour distribuer le second.

- Nous avons insisté sur l'importance des problèmes 1, 3 et 5. Aussi si certains élèves ne trouvaient pas la solution des problèmes 2 et 4 il ne fallait pas trop perdre de temps et donc leur proposer les suivants. Les élèves n'étaient pas au courant de la moindre importance des problèmes 2 et 4.

Pour terminer, sont proposés, dans le tableau XVII, les problèmes effectivement résolus dans chacun des trois groupes. Tous les sujets de la recherche résolvent trois problèmes complexes différents. Un problème version brute, un problème version aidée 1 et un problème version aidée 2. De plus, ces trois problèmes sont sous trois habillages différents. En revanche, l'ordre de résolution des problèmes est identique.

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
1	Problème « Arbres » brut	Problème « Livres » brut	Problème « Parking » brut
2	Problème multiplicatif 1	Problème multiplicatif 1	Problème multiplicatif 1
3	Problème « Livres » version aidée 1	Problème « Parking » version aidée 1	Problème « Arbres » version aidée 1
4	Problème multiplicatif 2	Problème multiplicatif 2	Problème multiplicatif 2
5	Problème « Parking » version aidée 2	Problème « Arbres » version aidée 2	Problème « Livres » version aidée 2

Tableau 4.17 : Problèmes arithmétiques résolus par les trois groupes de sujets.

Résultats

Chapitre 5 :

Compréhension de textes narratifs et résolution de problèmes arithmétiques complexes

5.1. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance aux problèmes arithmétiques complexes bruts.

L'objectif dans les sections 5.1.1 et 5.1.2 qui suivent est de déterminer s'il existe une relation entre la réussite à la résolution des problèmes complexes bruts et le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs. Dans un premier temps, les résultats seront proposés sans tenir compte des différents habillages des problèmes arithmétiques complexes bruts. Dans un second temps, il s'agira de croiser ces résultats globaux avec les trois habillages : « Arbres », « Livres » et « Voitures ».

224 élèves ont passé l'épreuve de compréhension de textes et l'épreuve de résolution de problèmes complexes. Je m'intéresse essentiellement aux résultats obtenus pour la résolution des problèmes complexes proposés dans la forme brute c'est-à-dire sans aucune aide.

En ce qui concerne le niveau d'expertise en compréhension de textes, les élèves ont obtenu une note sur 8 puisque 8 questions leur étaient proposées. Il a été défini, dans un premier temps, quatre niveaux d'expertise : score ≤ 5 , score = 6, score = 7 et enfin score = 8.

Certains scores ont été regroupés pour éviter d'obtenir des valeurs trop petites dans les cases des tables de contingence lors de l'exécution des tests du χ^2 de Pearson.

5.1.1. Résultats globaux

La présentation des résultats globaux débute par l'introduction de deux tableaux (I et II). Un graphique est également disponible en annexe II.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif				
	≤ 5	= 6	= 7	= 8	
Réussite problèmes complexes bruts	15	32	50	31	128
Échec problèmes complexes bruts	38	26	24	8	96
	53	58	74	39	224

Tableau I : Synthèse des données relatives aux 224 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et le résultat aux problèmes complexes bruts.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif				
	≤ 5	= 6	= 7	= 8	
Réussite problèmes complexes bruts	28.30%	55.17%	67.56%	79.48%	57.14%
Échec problèmes complexes bruts	71.69%	44.82%	32.43%	20.51%	42.85%
	23.66%	25.89%	33.03%	17.41%	100%

Tableau II : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 224 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et le résultat aux problèmes complexes bruts pour les 224 élèves de l'échantillon.

La grande majorité des élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 en compréhension de textes narratifs échouent aux problèmes complexes bruts (71.69% (échec) contre 28.30% (réussite)).

À partir d'un score égal à 6 en compréhension, les élèves réussissent mieux. De plus, les données recueillies montrent que plus le score est élevé en compréhension et plus le pourcentage des élèves qui réussissent aux problèmes complexes bruts est élevé (55.17% (6), 67.56% (7) et 79.48% (8)).

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score en compréhension de textes narratifs. Il s'agit d'une variable ordinale qui peut prendre quatre valeurs : score ≤ 5 , score = 6, score = 7 et enfin score = 8. Il s'agit d'une variable ordinale car il existe une relation directe entre les scores obtenus et le niveau d'expertise en compréhension. Cette variable est aussi nominale. Nous prenons soin de préciser le caractère nominal de cette variable car le test utilisé s'applique à des variables nominales.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec aux problèmes complexes bruts.

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts est la même quel que soit le niveau d'expertise en compréhension.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il y a indépendance entre ces deux variables nominales, j'ai eu recours au test du χ^2 de Pearson.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs				
		≤ 5	= 6	= 7	= 8	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	32	50	31	128
	Échec	38	26	24	8	96
		53	58	74	39	224

Tableau III : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon la variable indépendante (le score en compréhension de textes narratifs) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 29.33. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 3, χ^2 lu = 16.27). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Globalement, les différences entre les distributions des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu les scores ≤ 5 , = 6, = 7 et = 8 sont significatives.

Il est possible maintenant de préciser ces différences en prenant les modalités de la variable indépendante deux à deux : les scores ≤ 5 et = 6, les scores ≤ 5 et = 7, les scores ≤ 5 et = 8, les scores = 6 et = 7, les scores = 6 et = 8 et enfin, les scores = 7 et = 8.

6 tests du χ^2 de Pearson sont nécessaires.

Les scores ≤ 5 et = 6 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 6 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	$= 6$	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	32	47
	Échec	38	26	64
		53	58	111

Tableau IV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 111 élèves selon la variable indépendante (score ≤ 5 et score $=6$) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 8.19. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl = 1, χ^2 lu = 7.87 au seuil .005). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score inférieur à 5 et la distribution des réussites et des échecs de ceux ayant obtenu un score égal à 6 est significative.

Les scores ≤ 5 et $= 7$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 7 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	$= 7$	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	50	65
	Échec	38	24	62
		53	74	127

Tableau V : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon la variable indépendante (score ≤ 5 et score $= 7$) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 19.06. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 10.83 au seuil .001). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score inférieur à 5 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score égal à 7 est significative.

Les scores ≤ 5 et $= 8$

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 8 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	$= 8$	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	31	46
	Échec	38	8	46
		53	39	92

Tableau VI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 92 élèves selon la variable indépendante (score ≤ 5 et score $= 8$) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 23.55. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 10.83 au seuil .001). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score inférieur à 5 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score égal à 8 est significative.

Les scores = 6 et = 7 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 7 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	= 7	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	32	50	82
	Échec	26	24	50
		58	74	132

Tableau VII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 132 élèves selon la variable indépendante (score = 6 et score = 7) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 2.12. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 n'est pas rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score égal à 7 n'est pas significative.

Les scores = 6 et = 8 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 8 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	= 8	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	32	31	63
	Échec	26	8	34
		58	39	97

Tableau VIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 97 élèves selon la variable indépendante (score = 6 et score = 8) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 6.06. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H0 est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score égal à 8 est significative.

Les scores = 7 et = 8 :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score égal à 7 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score égal à 8 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 7	= 8	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	50	31	81
	Échec	24	8	32
		74	39	113

Tableau IX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 113 élèves selon la variable indépendante (score = 7 et score = 8) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 1.79. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H0 est vérifiée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score égal à 7 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score égal à 8 n'est pas significative.

Dans le tableau X sont synthétisées les relations entre d'une part, le niveau d'expertise en compréhension (variable indépendante) et d'autre part, le résultat aux problèmes complexes (variable dépendante).

	Variable indépendante : niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs						
	Global	≤ 5 / = 6	≤ 5 / = 7	≤ 5 / = 8	= 6 / = 7	= 6 / = 8	= 7 / = 8
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	χ^2 calculé é 29.32	χ^2 calculé 8.19	χ^2 calculé 19.06	χ^2 calculé 23.55	χ^2 calculé 2.12	χ^2 calculé 6.05	χ^2 calculé 1.78
	oui	oui	oui	oui	non	oui	non

Tableau X qui précise les relations entre d'une part, le niveau d'expertise en compréhension de textes et le résultat en résolution de problèmes arithmétiques complexes bruts.

Les résultats obtenus ci-dessus montrent que les différents niveaux d'expertise proposés en compréhension de textes narratifs ne sont pas tous pertinents puisque les différences ne sont pas significatives entre d'une part, les niveaux 6 et 7 et d'autre part, entre les niveaux 7 et 8. Il est possible de procéder à des regroupements de données pour obtenir des différences significatives deux à deux.

Deux possibilités sont offertes. La première option consiste à regrouper les scores égaux à 6 et 7 et la seconde les scores égaux à 7 et 8. Je choisis cette dernière afin d'accroître les conditions d'application du test du χ^2 de Pearson dans la section 5.1.3 en évitant les petits effectifs.

5.1.2. Ajustement des niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs

L'objectif reste donc le même à savoir la mise en évidence d'une éventuelle relation entre les niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs et la résolution de problèmes complexes bruts. Cette fois-ci il n'y a que

3 niveaux d'expertise correspondant aux scores ≤ 5 , $= 6$, ≥ 7 . Dans les tableaux XI et XII les résultats synthétiques y sont précisés. Un graphique est également disponible en annexe III.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	$= 7$	
Réussite problèmes complexes bruts	15	32	81	128
Échec problèmes complexes bruts	38	26	32	96
	53	58	113	224

Tableau XI : Synthèse des données relatives aux 224 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat aux problèmes complexes bruts.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Réussite problèmes complexes bruts	28.30%	55.17%	71.68%	57.14%
Échec problèmes complexes bruts	71.69%	44.82%	28.31%	42.85%
	23.66%	25.89%	50.44%	100%

Tableau XII : Synthèse sous forme de pourcentages des données relatives aux 224 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat aux problèmes complexes bruts.

L'hypothèse nulle H_0 est la même également et elle consiste à dire qu'il y a indépendance entre les deux variables. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs en problèmes complexes bruts est la même quel que soit le niveau d'expertise en compréhension de textes.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs			
		≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	32	81	128
	Échec	38	26	32	96
		53	58	113	224

Tableau XIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 224 élèves selon la variable indépendante (score ≤ 5 , $= 6$ et score ≥ 7) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 27.85. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu = 13.82). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Globalement, les différences entre les distributions des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu les scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7 sont significatives.

Il est possible, comme précédemment, d'étudier la relation entre ces deux variables en prenant les modalités de la variable indépendante deux à deux.

Les scores $\leq 5 / = 6$:

Ce calcul a déjà été fait à la section 5.1.1. L'hypothèse nulle H_0 a été rejetée (χ^2 calculé = 8.19).

Les scores $= 6 / \geq 7$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score supérieur ou égal à 7 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	32	81	113
	Échec	26	32	58
		58	113	171

Tableau XIV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 171 élèves selon la variable indépendante (score = 6 et score ≥ 7) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 4.66. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score = 6 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score ≥ 7 sont significatives.

Les scores $\leq 5 / \geq 7$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts complexes est la même pour les élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 en compréhension de textes narratifs et ceux qui ont obtenu un score supérieur ou égal à 7 à cette même épreuve de compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	15	81	96
	Échec	38	32	70
		53	113	166

Tableau XV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 166 élèves selon la variable indépendante (score ≤ 5 et score ≥ 7) et la variable dépendante (résultat aux problèmes complexes bruts).

Le χ^2 calculé est égal à 27.84. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 10.83 au seuil .001). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 5 et la distribution des réussites et des échecs pour ceux ayant obtenu un score supérieur ou égal à 7 sont significatives.

Trois niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs ont été mis en évidence correspondant respectivement aux scores inférieur ou égal à 5, égal à 6 et enfin supérieur ou égal à 7. Il existe une relation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et en résolution de problèmes complexes. Plus le niveau d'expertise est élevé et plus la résolution des problèmes complexes bruts est réussie. Bien que différentes, les deux activités proposées aux élèves ont en commun une étape de compréhension de textes.

Ainsi, les principaux processus cognitifs qui consistent à activer les concepts des énoncés, à construire les propositions à partir de ces concepts, à en inférer d'autres qui leur sont proches à partir des connaissances générales et

spécifiques du « compreneur », à les mettre en réseau en s'assurant de la cohérence locale et globale se retrouvent dans les deux activités.

5.2. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, la performance aux problèmes arithmétiques complexes et les habillages

La mise en évidence d'une relation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et le résultat en résolution de problèmes complexes bruts ne tient pas compte des différents habillages des énoncés. L'objectif dans cette section est de déterminer si le résultat obtenu précédemment se confirme s'il est croisé avec les différents habillages : arbres, livres et voitures.

5.2.1. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres »

Les tableaux XVI et XVII fournissent les résultats synthétiques du groupe 1. Un graphique est également disponible en annexe IV.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Arbres »	4	14	34	52
Échec problème complexe brut « Arbres »	7	7	12	26
	11	21	46	78

Tableau XVI : Synthèse des données relatives aux 78 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Arbres »	36.36%	66.66%	73.91%	66.66%
Échec problème complexe brut « Arbres »	63.63%	33.33%	26.08%	33.33%
	14.10%	26.92%	58.97%	100%

Tableau XVII : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 78 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » est la même quel que soit le niveau d'expertise en compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs			
		≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Arbres »	Réussite	4	14	34	52
	Échec	7	7	12	26
		11	21	46	78

Tableau XVIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 78 élèves du groupe 1 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous « l'habillage arbres »).

Effectifs théoriques					
		Mod1	Mod2	Mod3	
Facteur 2	Mod 1	7,3333	14	30,667	52
	Mod 2	3,6667	7	15,333	26
		11	21	46	78

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du test de χ^2 de Pearson sont réunies car moins de 20% des cases des effectifs théoriques ont des valeurs inférieures à 5 (1 case sur 6).

Le χ^2 calculé est égal à 5.63. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 2, χ^2 lu = 5.99 au seuil .05). L'hypothèse nulle H0 est vérifiée. Il y a indépendance entre les deux variables. Les différences entre les distributions des réussites et des échecs en résolution de problèmes arithmétiques complexes bruts pour les différents niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs ne sont pas significatives.

Même si globalement les différents niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs ne sont pas déterminants, le χ^2 calculé est proche du χ^2 lu. Il est intéressant donc d'étudier les modalités de la variable indépendante deux à deux. Pour la plupart d'entre eux, nous nous attendons à trouver des résultats non significatifs.

≤ 5 et ≥ 7 :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Arbres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score ≥ 7 .

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Arbres »	Réussite	4	34	38
	Échec	7	12	19
		11	46	57

Tableau XIX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 57 élèves du groupe 1 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres »).

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	7,3333333333	30,66666667	38
	Mod 2	3,666666667	15,333333333	19
		11	46	57

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson ne sont pas entièrement réunies puisque l'une des cases des effectifs théoriques est inférieure à 5.

Il est possible de contourner cette difficulté en calculant le coefficient de Bravais-Pearson entre ces deux variables. La variable X sera le niveau d'expertise en compréhension de textes (≤ 5 et ≥ 7). Les deux modalités de cette variable sont respectivement associées aux scores 1 et 2. La variable Y sera la performance en résolution du problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ». Les deux modalités de cette seconde variable sont respectivement associées aux scores 0 et 1.

r=	0,314347307
-----------	--------------------

Le calcul du r de Bravais-Pearson est détaillé en annexe V. Le coefficient calculé est supérieur au coefficient lu dans la table du r de Bravais-Pearson au premier seuil critique acceptable de $p < .05$. (ddl = 55, r lu = .224 au seuil de $p < .05$). Il existe une corrélation entre ces deux variables. Il existe donc une corrélation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 et ≥ 7) et la performance en résolution de problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

≤ 5 et $= 6$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Arbres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score = 6.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Arbres »	Réussite	4	14	18
	Échec	7	7	14
		11	21	32

Tableau XX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 32 élèves du groupe 1 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et = 6) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres »).

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	6,1875	11,8125	18
	Mod 2	4,8125	9,1875	14
		11	21	32

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson ne sont pas entièrement réunies puisque l'une des cases des effectifs théoriques est inférieure à 5.

Il est possible de contourner cette difficulté en calculant le coefficient de Bravais-Pearson entre ces deux variables. La variable X sera le niveau d'expertise en compréhension de textes (≤ 5 et $= 6$). Les deux modalités de cette variable sont respectivement associées aux scores 1 et 2. La variable Y sera la performance en résolution du problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ». Les deux modalités de cette variable sont respectivement associées aux scores 0 et 1.

r= 0,243094947

Le calcul du r de Bravais-Pearson est détaillé en annexe VI. Le coefficient calculé est inférieur au coefficient lu dans la table du r de Bravias-Pearson au premier seuil critique acceptable de $p < .05$. (ddl = 30, r lu = .306 au seuil de $p < .05$). Il n'existe pas de corrélation entre ces deux variables. Il n'existe donc pas de corrélation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 et $= 6$) et la performance en résolution de problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

= 6 et ≥ 7 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Arbres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score = 6 et ceux ayant obtenu un score ≥ 7 .

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Arbres »	Réussite	14	34	48
	Échec	7	12	19
		21	46	67

Tableau XXI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 67 élèves du groupe 1 selon la variable indépendante (scores = 6 et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres »).

Le χ^2 calculé est égal à 0.36. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.841 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est vérifiée. Il y a indépendance entre les deux variables. Les différences entre les distributions des réussites et des échecs en résolution de problèmes arithmétiques complexes bruts selon les niveaux d'expertise = 6 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs ne sont pas significatives.

5.2.2. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Livres »

Cette section débute par la présentation des résultats des élèves du groupe 2. Ils sont précisés dans les tableaux XXII et XXIII. Un graphique est également disponible en annexe VII.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Livres »	4	9	19	32
Échec problème complexe brut « Livres »	23	5	12	40
	27	14	31	72

Tableau XXII : Synthèse des données relatives aux 72 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Livres »	14.81%	64.28%	61.29%	44.44%
Échec problème complexe brut « Livres »	85.18%	35.71%	38.70%	55.55%
	37.5%	19.44%	43.05%	100%

Tableau XXIII : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 72 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au

problème complexe brut sous l’habillage « Livres » est la même quel que soit le niveau d’expertise en compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs			
		≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Livres »	Réussite	4	9	19	32
	Échec	23	5	12	40
		27	14	31	72

Tableau XXIV : Table de contingence qui précise la Répartition simultanée des 72 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l’habillage « Livres »).

Le χ^2 calculé est égal à 15.4. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu = 13.82 au seuil .001). L’hypothèse nulle H_0 est rejetée. Globalement, les différences entre les distributions des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l’habillage livres » pour les élèves ayant obtenu les scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7 sont significatives.

Puisque globalement il existe une relation entre les deux variables étudiées, il est possible de préciser ce résultat en prenant les modalités de la variable indépendante deux à deux : ≤ 5 et ≥ 7 , ≤ 5 et $= 6$ et enfin $= 6$ et ≥ 7 .

≤ 5 et ≥ 7

L’hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l’habillage « Livres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score ≥ 7 .

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Livres »	Réussite	4	19	23
	Échec	23	12	35
		27	31	58

Tableau XXV : Table de contingence qui précise la Répartition simultanée des 58 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »).

Le χ^2 calculé est égal à 13.03. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 10.83 au seuil .001). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre les distributions des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « livres » pour les élèves ayant obtenu un score ≤ 5 et ceux qui ont obtenu un score ≥ 7 sont significatives.

≤ 5 et = 6 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Livres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score =6.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Livres »	Réussite	4	9	13
	Échec	23	5	28
		27	14	41

Tableau XXVI : Table de contingence qui précise la Répartition simultanée des 41 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et =6) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »).

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	8,56097561	4,43902439	13
	Mod 2	18,43902439	9,56097561	28
		27	14	41

Calcul du χ^2 de Pearson

Il n'est pas possible de conclure sur l'existence ou non d'une relation entre les deux variables étudiées car l'une des cases des effectifs théoriques est inférieure à 5. Il est en revanche possible de calculer le coefficient de Bravais-Pearson. Ces deux variables sont aussi ordinales.

Soit X la variable associée aux modalités ≤ 5 et = 6. Elle prend respectivement les valeurs 0 et 1. Soit la variable Y associée aux modalités échec et réussite au problème arithmétique complexe brut. Elle prend respectivement les valeurs 0 et 1. Le coefficient de Bravais-Pearson est calculé en annexe VIII.

r =	0,50413287
------------	-------------------

Le coefficient calculé est supérieur au coefficient lu dans la table du r de Bravias-Pearson au seuil de $p < .005$. Il existe une corrélation entre ces deux variables. Il existe donc une corrélation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 et $= 6$) et la performance en résolution de problème arithmétique complexe sous l'habillage « Livres ».

= 6 et ≥ 7 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Livres » est la même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score $= 6$ et ceux ayant obtenu un score ≥ 7 .

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Livres »	Réussite	9	19	28
	Échec	5	12	17
		14	31	45

Tableau XXVII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 45 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores $=6$ et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »).

Les conditions d'application du test sont remplies. Le χ^2 calculé est égal à 0.04. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est vérifiée. Il y a indépendance entre les deux variables. Autrement dit, les différences entre la distribution des réussites et des échecs à la résolution du problème arithmétique

complexe des élèves ayant obtenu un score égal à 6 et ceux ayant obtenu un score supérieur ou égal à 7 ne sont pas significatives.

5.2.3. Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance aux problèmes arithmétiques complexes sous l'habillage « Voitures »

Cette section débute par la présentation des résultats des élèves du groupe 3. Ils sont précisés dans les tableaux XXVIII et XXIX. Un graphique est également disponible en annexe IX.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	= 6	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Voitures »	7	9	28	44
Échec problème complexe brut « Voitures »	8	14	8	30
	15	23	36	74

Tableau XXVIII : Synthèse des données relatives aux 74 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5, = 6 et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	= 6	≥ 7	
Réussite problème complexe brut « Voitures »	46.66%	39.13%	77.77%	59.45%
Échec problème complexe brut « Voitures »	53.33%	60.86%	22.22%	40.54%
	20.27%	31.08%	48.64%	100%

Tableau XXIX : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 74 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5, = 6 et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » est la même quel que soit le niveau d'expertise en compréhension.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs			
		≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Voitures »	Réussite	7	9	28	44
	Échec	8	14	8	30
		15	23	36	74

Tableau XXX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 72 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures »).

Le χ^2 calculé est égal à 9.97. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .01$ (ddl = 2, χ^2 lu = 9.21 au seuil .01). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Globalement, les différences entre les distributions des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « voitures » pour les élèves ayant obtenu les scores ≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7 sont significatives.

Puisque globalement il existe une relation entre les deux variables étudiées, il est possible de préciser ce résultat en prenant les modalités de la variable indépendante deux à deux : ≤ 5 et ≥ 7 , ≤ 5 et $= 6$ et enfin $= 6$ et ≥ 7 .

≤ 5 et ≥ 7 :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Voitures » est le même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score ≥ 7.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Voitures »	Réussite	7	28	35
	Échec	8	8	16
		15	36	51

Tableau XXXI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 51 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures »).

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	10,29411765	24,70588235	35
	Mod 2	4,705882353	11,29411765	16
		15	36	51

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du test du χ^2 de Pearson ne sont pas réunies puisqu'une valeur des effectifs théoriques est inférieure à 5. Il n'est donc pas possible de conclure au moyen de ce test. En revanche, il est possible de calculer le coefficient de Bravais-Pearson pour l'effectif des 51 sujets concernés en définissant la variable X qui peut prendre les valeurs 1 et 2. La

première valeur correspond au score ≤ 5 et la valeur 2 correspond au score ≥ 7 . La variable Y peut prendre les valeurs 1 et 0. La première valeur correspond à la réussite au problème arithmétique brut complexe et la valeur 0 correspond à l'échec à ce même problème.

r = 0,305505046

Le détail de ce calcul est présenté en annexe X. Le coefficient calculé est supérieur au coefficient lu dans la table de Bravais-Pearson au premier seuil critique acceptable de $p < .5$. (ddl =49, r lu = .238 et r calculé = .305). Il existe donc une corrélation entre ces deux variables.

≤ 5 et = 6 :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Voitures » est le même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et ceux ayant obtenu un score = 6.

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Voitures »	Réussite	7	9	16
	Échec	8	14	22
		15	23	38

Tableau XXXII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 38 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores ≤ 5 et = 6) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures »).

Les conditions d'application du test sont remplies. Le χ^2 calculé est égal à .21. IL est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est vérifiée. Il y a indépendance entre les deux variables. Autrement dit, les différences entre la distribution des réussites et des échecs à la résolution du problème arithmétique complexe sous l'habillage « Voitures » des élèves ayant obtenu respectivement un score ≤ 5 et un score = 6 ne sont pas significatives.

= 6 et ≥ 7 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables étudiées sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe sous l'habillage « Voitures » est le même pour les élèves ayant obtenu respectivement un score = 6 et ceux ayant obtenu un score ≥ 7 .

		Variable indépendante : Score en compréhension de textes narratifs		
		= 6	≥ 7	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut « Voitures »	Réussite	9	28	37
	Échec	14	8	22
		23	36	59

Tableau XXXIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 59 élèves du groupe 2 selon la variable indépendante (scores = 6 et ≥ 7) et la variable dépendante (résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures »).

Le χ^2 calculé est égal à 8.96. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl = 1, χ^2 lu = 7.87 au seuil .005). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les

différences entre les distributions des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l’habillage « voitures » pour les élèves ayant obtenu respectivement les scores =6 et ≥ 7 sont significatives.

5.2.4. Récapitulatif des résultats obtenus

Le tableau XXXIV récapitule d’une part, les résultats obtenus globalement et d’autre part, ceux obtenus en tenant compte des différents énoncés de problèmes arithmétiques complexes : Arbres, Livres et Voitures. Ces résultats concernent les relations existantes ou non entre les deux variables considérées : le niveau d’expertise en compréhension de textes narratifs et la performance aux problèmes arithmétiques complexes bruts.

		Niveaux d’expertise en compréhension de textes narratifs			
		Global : $\leq 5, = 6$ et ≥ 7	≤ 5 et ≥ 7	≤ 5 et = 6	= 6 et ≥ 7
Existence d’une relation Indépendamment des énoncés		Oui	Oui	Oui	Oui
Relation selon les trois énoncés	Arbres	Non	Oui	Non	Non
	Livres	Oui	Oui	Oui	Non
	Voitures	Oui	Oui	Non	Oui

Tableau XXXIV : Récapitulation des relations entre les deux variables choisies : le niveau d’expertise en compréhension de textes narratifs et la performance en résolution de problème arithmétique complexe.

Les différents niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs correspondant aux scores inférieur ou égal à 5, égal à 6 et enfin supérieur à 7 ont un impact sur la fréquence des réussites et des échecs en résolution de problèmes arithmétiques complexes d'un point de vue global. Cet impact se confirme lorsque les niveaux sont pris deux à deux.

Ainsi, plus le niveau d'expertise en compréhension de textes est élevé et plus la performance en résolution de problèmes complexes arithmétiques est positive.

Lorsque les énoncés sont pris séparément, la relation globale entre les deux variables existe toujours pour les habillages « Livres » et « Voitures ». En revanche, elle ne se retrouve pas sous l'habillage « Arbres » même si le χ^2 calculé est proche du χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (5.63 contre 5.99).

Ces trois problèmes arithmétiques complexes à énoncés verbaux sont identiques du point de vue des relations conceptuelles ou encore des schémas de problèmes qu'il est possible d'activer pour atteindre la solution. La différence réside dans les éléments de surface. Ces derniers déterminent pour une part la performance à la résolution des problèmes arithmétiques complexes.

La proposition est au cœur de la théorie de Kintsch (1978, 1983 et 1988). La représentation à laquelle aboutit l'activité de compréhension est un réseau associatif composé principalement de propositions. En 1985, il s'associe à Greeno pour écrire un article dans lequel il montre que sa théorie générale de la compréhension de textes s'applique également aux énoncés de problèmes arithmétiques simples.

Dans notre travail, nous nous intéressons aux problèmes arithmétiques complexes. Chacun des énoncés (Arbres, Livres et Voitures) a fait l'objet d'une traduction en propositions. Le nombre de propositions qu'il est possible d'extraire directement des énoncés est respectivement 14, 19 et 23.

La résolution réussie de ces problèmes arithmétiques impose une activité de compréhension de textes qui consiste, en résumé, à élaborer une représentation multi-niveaux (surface, sémantique et situationnel), en mémoire de travail à capacité limitée, combinant des éléments textuels et les connaissances du lecteur. Cette élaboration nécessite la mise en œuvre d'une multitude de processus : activation de concepts, construction des propositions directement extraites des entrées linguistiques par l'activation de structures prédicatives, inférences pour combler les trous sémantiques, inférences optionnelles, élaboration d'un réseau sémantique aux niveaux local et global (macropropositions), inhibition de certaines propositions...De plus cette élaboration s'effectue par cycles répétitifs de construction et d'intégration.

Les processus mis en jeu lors de la compréhension de textes narratifs se retrouvent également lors de l'activité de compréhension des énoncés de problèmes y compris l'élaboration de macropropositions. Ainsi, le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance en résolution de problèmes arithmétiques complexes sont liés.

Chapitre 6 :
Problèmes
arithmétiques
simples et
problèmes
arithmétiques
complexes bruts

6.1. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples et la performance aux problèmes arithmétiques complexes bruts.

6.1.1. Résultats globaux

Comme cela a été précisé dans la méthodologie (4.2. et 4.3), la passation des épreuves s'est déroulée en deux phases au cours de la recherche. La première épreuve a consisté d'une part, à résoudre des problèmes arithmétiques simples de types Changement et Parties-Tout et d'autre part, à répondre à des questions à choix multiples après avoir lu un texte narratif.

Pour les problèmes arithmétiques simples, chaque élève a obtenu un score compris entre 0 et 6. Il détermine différents niveaux d'expertise. Pour satisfaire les conditions d'application des tests statistiques choisis, certains scores ont été regroupés afin de contourner l'obstacle des petits effectifs. Ainsi, trois niveaux d'expertise ont été retenus : score < 5, score = 5 et score = 6.

La deuxième phase a consisté à résoudre les problèmes complexes proposés dans différentes versions (version brute, version aidée 1 et version aidée 2).

239 élèves ont participé à la première phase et 227 à la seconde. 224 élèves étaient présents aux deux épreuves. C'est à partir de ce dernier échantillon que le croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance aux problèmes bruts est étudié. La présentation des résultats commence par deux tableaux synthétiques et un graphique est disponible en annexe XI.

	score problèmes simples <5	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
Réussite problème brut	12	21	95	128
Échec problème brut	45	19	32	96
	57	40	127	224

Tableau XXXV : Synthèse des données relatives au croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et de la performance aux problèmes complexes bruts.

	score problèmes simples <5	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
réussite problème brut	21.05%	52.5%	74.80%	57.14%
échec problème brut	78.94%	47.5%	25.19%	42.85%
	25.44%	17.85%	56.69%	100%

Tableau XXXVI : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives au croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème brut.

Une grande majorité des élèves ayant un score inférieur à 5 aux problèmes simples échouent aux problèmes complexes bruts (78.94%). Dans le même temps, une minorité des élèves ayant le score maximal échouent à ces mêmes problèmes bruts (25.19%).

En revanche, la distribution des réussites et des échecs aux problèmes bruts s'équilibre pour les élèves qui ont obtenu un score de 5 aux problèmes simples (52.5% contre 47.5%).

Les données recueillies montrent que plus le score aux problèmes simples est élevé et plus la performance aux problèmes arithmétiques complexes proposés dans la version brute est elle aussi élevé.

Cela a déjà été dit précédemment, le choix de tenir compte uniquement des scores strictement inférieur à 5, égal à 5 et égal à 6 tient au fait que la vérification statistique de ces données impose des conditions d'application quant aux petits effectifs. Il a donc été décidé de procéder à des regroupements d'effectifs. Le tableau XIX précise les résultats détaillés pour chacun des scores (0, 1, 2, 3, 4, 5 et 6). Pour ceux allant de 0 à 3, les effectifs sont très petits et même en les regroupant ils restent petits. Il a donc été décidé de regrouper les scores allant de 0 à 4. C'est de cette façon que les tableaux 17 et 18 ont été obtenus.

		Scores problèmes simples							
		0	1	2	3	4	5	6	
Effectif	Total	4	1	11	13	28	40	127	224
	Réussite Brut	0	0	1	1	10	21	95	128
	Échec Brut	4	1	10	12	18	19	32	95
Pourcentage réussite brut		0%	0%	9.09%	7.69%	35.71%	52.5%	74.8%	57.14%

Tableau XXXVII : Résultats détaillés des réussites et des échecs aux problèmes arithmétiques complexes bruts selon les scores obtenus aux problèmes arithmétiques simples.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score obtenu aux problèmes simples. Il s'agit d'une variable ordinaire qui prend trois valeurs : score < 5, score = 5, score = 6. La variable est ordinaire car il existe une relation directe entre les scores obtenus aux problèmes simples et le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples. Cette variable est aussi nominale. Nous prenons soin de préciser le caractère nominal de cette variable car le test utilisé s'applique à des variables nominales.

La variable dépendante est une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec aux problèmes complexes bruts.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il y a indépendance entre ces deux variables nominales, j'ai eu recours au test du χ^2 de Pearson.

Pour tester l'hypothèse nulle au moyen de ce test, j'ai comparé, dans un premier temps, les résultats pris simultanément (≤ 4 , $= 5$, $= 6$). Dans un deuxième temps, j'ai analysé les résultats pris deux à deux : ≤ 4 et $= 6$, ≤ 4 et $= 5$, $= 5$ et $= 6$.

		Variable indépendante Score aux problèmes simples			
		≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Variable dépendante : résultat aux problèmes complexes bruts	Réussite	12	21	95	128
	Échec	45	19	32	96
		57	40	127	224

Tableau XXXVIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score aux problèmes arithmétique simples et le résultat aux problèmes arithmétiques complexes bruts.

Le χ^2 calculé est égal à 46.84. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu au seuil .001 = 13.82). L'hypothèse nulle peut être rejetée. La distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts n'est pas la même selon le score aux problèmes arithmétiques simples. Un score élevé aux problèmes simples entraîne plus de réussite aux problèmes complexes bruts.

Le processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes combinant des problèmes simples de type Changement et de type Partie-Tout nécessite des connaissances arithmétiques de nature schématique. La qualité des schémas conceptuels des élèves détermine pour une part la réussite aux problèmes complexes bruts.

Un score maximal de 6 aux problèmes simples signifie que l'élève a résolu les différents cas possibles des problèmes simples avec succès. Il possède donc des connaissances arithmétiques complètes. Inversement, plus le score de l'élève

est faible et plus ses connaissances conceptuelles liées à ces problèmes sont incomplètes.

Plus les connaissances arithmétiques liées aux problèmes simples sont complètes et plus il sera aisé pour l'élève de résoudre des problèmes complexes.

Les deux variables étudiées sont globalement liées entre elles. Je vais maintenant tester l'hypothèse nulle selon laquelle ces mêmes variables sont indépendantes en étudiant les modalités de la variable indépendante prises deux à deux : score ≤ 4 / score = 6, Score ≤ 4 / score = 5 et enfin Score = 5 / score = 6.

Score ≤ 4 / score = 6 :

La variable indépendante est nominale. Elle peut prendre les valeurs ≤ 4 ou = 6. La variable dépendante est aussi une variable nominale dichotomique. Elle peut prendre les valeurs réussite ou échec au problème brut. L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts est la même pour les élèves qui ont un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples et les élèves qui ont un score égal à 6 à ces mêmes problèmes.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		Score ≤ 4	Score = 6	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut	Réussite	12	95	107
	Échec	45	32	77
		57	127	184

Tableau XXXIX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les score ≤ 4 et = 6 aux problèmes simples et le résultat aux problèmes complexes bruts.

Le χ^2 calculé est égal à 46.7. Il est largement supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu au seuil .001 = 10.83). L'hypothèse nulle est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant un score inférieur à 4 aux problèmes simples et la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant un score égal à 6 aux problèmes simples est significative.

Score ≤ 4 / score = 5 :

La variable indépendante est nominale. Elle peut prendre les valeurs ≤ 4 ou $= 5$. La variable dépendante est aussi une variable nominale dichotomique. Elle peut prendre les valeurs réussite ou échec au problème brut. L'hypothèse nulle consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème brut est la même pour les élèves qui ont un score ≤ 4 aux problèmes simples et les élèves qui ont un score de 5 à ces mêmes problèmes.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		Score ≤ 4	Score = 5	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut	Réussite	12	21	33
	Échec	45	19	64
		57	40	97

Tableau XL : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 et $= 5$ aux problèmes arithmétiques simples et le résultat aux problèmes complexes bruts.

Le χ^2 calculé est égal à 10.35. IL est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl = 1, χ^2 lu au seuil $.005 = 7.87$). L'hypothèse nulle est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour les élèves ayant un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples et la distribution des réussites et des échecs au problèmes brut pour les élèves ayant un score égal à 5 aux problèmes simples est significative.

Score =5 / score = 6 :

La variable indépendante est nominale. Elle peut prendre les valeurs = 5 ou = 6. La variable dépendante est aussi une variable nominale dichotomique. Elle peut prendre les valeurs réussite ou échec au problème brut. L'hypothèse nulle consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème brut est la même pour les élèves qui ont un score égal 5 aux problèmes simples et les élèves qui ont un score égal 6 à ces mêmes problèmes.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		Score = 5	Score = 6	
Variable dépendante : Résultat au problème complexe brut	Réussite	21	95	116
	Échec	19	32	51
		40	127	167

Tableau XLI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score =5 et =6 aux problèmes simples et le résultat aux problèmes complexes bruts.

Le χ^2 calculé est égal à 7.13. IL est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .01$ (ddl = 1, χ^2 lu au seuil .01 = 6.63). L'hypothèse nulle est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs au problème brut pour les élèves ayant un score égal à 5 aux problèmes simples et la distribution des réussites et des échecs au problèmes brut pour les élèves ayant un score égal à 6 a ux problèmes simples est significative.

Dans le tableau de synthèse XLII sont récapitulées les relations entre d'une part, le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples (variable indépendante) et d'autre part, le résultat aux problèmes complexes bruts (la variable dépendante).

	Variable indépendante : Le score aux problèmes arithmétiques simples			
	Global	$\leq 4 / = 6$	$\leq 4 / = 5$	$= 5 / = 6$
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Oui	Oui	Oui	Oui
	Oui	Oui	Oui	Oui
	Oui	Oui	Oui	Oui

Tableau XLII qui synthétise les relations entre les deux variables (globale et modalités de la variable indépendante prises deux à deux.)

Toutes les différences sont significatives lorsque les modalités de la variable indépendante sont prises deux à deux. Le choix de distinguer les scores inférieur à 4, égal à 5 et enfin égal à 6 est pertinent. Ces trois niveaux d'expertise correspondent respectivement à des connaissances arithmétiques incomplètes, partiellement complètes et complètes.

Le processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes aboutit à l'élaboration d'une représentation de nature schématique. Le schéma conceptuel ainsi élaboré met en jeu des schémas conceptuels associés aux problèmes arithmétiques simples.

Avant de vérifier statistiquement ces données pour chacun des habillages « Arbres », « Livres » et « Voitures », il est à remarquer que le fait de posséder des connaissances schématiques complètes relatives aux problèmes simples ne garantit pas la réussite aux problèmes arithmétiques complexes bruts car 25.19% d'entre eux ne réussissent pas (tableau 18).

Au moins deux interprétations sont possibles. Il peut s'agir d'une part d'une charge mentale plus importante pour résoudre les problèmes arithmétiques complexes et d'autre part d'une difficulté à mobiliser et organiser correctement ces connaissances.

6.1.2. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples, la performance aux problèmes complexes bruts et les habillages

Les résultats mis en évidence à la section précédente (6.1.1.) indiquant une relation entre les connaissances arithmétiques relatives aux problèmes simples et la performance aux problèmes complexes bruts ont été obtenus indépendamment des habillages sémantiques.

Dans cette section, l'objectif est de déterminer si les résultats obtenus précédemment dépendent de ces derniers.

L'hypothèse nulle H_0 reste la même : Il y a indépendance entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance aux problèmes bruts.

Cette hypothèse sera testée au moyen du test du χ^2 de Pearson selon les habillages « Arbres », « Livres » et « Voitures ».

Comme cela a été précisé dans la section précédente, 224 élèves ont passé les deux épreuves. 78 de ces élèves ont eu à résoudre un problème complexe brut donné sous l’habillage « Arbres » (groupe 1), 72 autres élèves un problème complexe brut sous l’habillage « Livres » (groupe 2) et enfin 74 autres élèves un problème complexe brut sous l’habillage « Voitures » (groupe 3).

6.1.2.1. Croisement entre le niveau d’expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l’habillage « Arbres »

La présentation des résultats obtenus pour le groupe 1 commence par deux tableaux synthétiques. Un graphique est également disponible en annexe XII.

	Score problèmes simples ≤ 4	Score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
Réussite problème brut	4	11	37	52
Échec problème brut	12	6	8	26
	16	17	45	78

Tableau XLIII : Synthèse des données relatives aux 78 élèves de l’échantillon croisant le niveau d’expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l’habillage « Arbres ».

	Score problèmes simples ≤ 4	Score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
Réussite problème brut	25%	64.70%	82.22%	66.66%
Échec problème brut	75%	35.29%	17.77%	33.33%
	20.51%	21.79%	57.69%	100%

Tableau XLIV : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 78 élèves de l’échantillon croisant le niveau d’expertise aux problèmes simples et la performance au problème brut sous l’habillage « Arbres ».

Une grande majorité des élèves ayant un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples échouent au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » (75%). Dans le même temps, une minorité des élèves ayant le score maximal échouent à ce même problème brut (17.77%).

Les données recueillies montrent des résultats opposés au problème complexe sous l'habillage « Arbres » pour les élèves qui ont eu un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples et ceux qui ont eu un score maximal.

De plus, une majorité des élèves ayant un score égal à 5 aux problèmes simples réussissent au problème brut (64.70% contre 35.29%) sans toutefois atteindre le pourcentage des élèves ayant eu un score maximal (82.22%).

Ces données montrent que plus le score est élevé aux problèmes simples et plus la performance au problème complexe brut sous « l'habillage arbres » est elle aussi élevée.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score aux problèmes arithmétiques simples. Il s'agit d'une variable ordinale qui peut prendre trois valeurs : score ≤ 4 , score = 5, score = 6.

Cela a déjà été dit, la variable ordinale car il existe une relation directe entre les scores obtenus aux problèmes simples et le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples. Cette variable est aussi nominale.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre ces deux variables. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4, un score égal à 5 ou un score égal à 6.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples			
		≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Variable dépendante : Résultat problème brut « arbres »	Réussite	4	11	37	52
	Échec	12	6	8	26
		16	17	45	78

Tableau XLV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 , $=5$ et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

Les conditions d'application du test du χ^2 de Pearson sont respectées car aucune case des effectifs théoriques contient une valeur inférieure à 5.

Le χ^2 calculé est égal à 17.42. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu au seuil .001 = 13.82). L'hypothèse nulle est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » n'est pas la même selon le score aux problèmes arithmétiques simples. Plus le score est élevé aux problèmes simples et plus la résolution de problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » est réussie.

La variable indépendante a trois modalités : score ≤ 4 , score $= 5$ et score $= 6$. Je vais tester l'hypothèse en étudiant ces modalités prises 2 à 2 : score ≤ 4 / score $= 6$, Score ≤ 4 / score $= 5$ et enfin Score $=5$ / score $= 6$.

Score ≤ 4 / score $= 6$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre les deux variables nominales. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l'habillage arbres » est la même pour les élèves

qui ont eu un score inférieur ou égal à 4 et pour ceux qui ont eu un score égal à 6.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	= 6	
Variable dépendante : Résultat problème brut « arbres »	Réussite	4	37	41
	Échec	12	8	20
		16	45	61

Tableau XLVI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

Le χ^2 calculé est égal à 17.53. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $P < .001$. (ddl =1, χ^2 lu au seuil .001= 10.83). L'hypothèse nulle est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » n'est pas la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et ceux ayant eu un score égal à 6.

Score ≤ 4 / score = 5 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre les deux variables nominales. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l'habillage arbres » est la même pour les élèves qui ont eu un score inférieur ou égal à 4 et pour ceux qui ont eu un score égal à 5.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	= 5	
Variable dépendante : Résultat problème brut « arbres »	Réussite	4	11	15
	Échec	12	6	18
		16	47	33

Tableau XLVII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 et =5 aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

Le Calcul du χ^2 de Pearson s'est fait avec la correction de continuité de Yates car l'effectif total de cet échantillon commence à être peu important et selon la littérature, il faut apporter cette correction l est inférieur à environ 30.

Le χ^2 calculé est égal à 4.82. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84). L'hypothèse nulle est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » n'est pas la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et les élèves ayant eu un score égal à 5.

Score = 5 / score = 6 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre les deux variables nominales. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au

problème brut sous « l’habillage arbres » est la même pour les élèves qui ont eu un score égal à 5 et pour ceux qui ont eu un score égal à 6.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		= 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat problème brut « arbres »	Réussite	11	37	48
	Échec	6	8	14
		17	45	62

Tableau XLVIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le scores =5 et =6 aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l’habillage « Arbres ».

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	13,16129032	34,83870968	48
	Mod 2	3,838709677	10,16129032	14
		17	45	62

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d’application du test du χ^2 de Pearson ne sont pas entièrement réunies. En effet, selon la littérature (Howel, 2008 ; Beaufile, 1996), les cases des effectifs théoriques doivent posséder des valeurs supérieures ou égales à 5. Une tolérance est malgré tout observée lorsque qu’au maximum 20% des cases de ces effectifs théoriques comportent des valeurs inférieures à 5. Dans le cas présent, le seuil est dépassé. Il n’est pas possible de conclure avec le test du χ^2 de Pearson.

Pour vérifier l’existence d’une relation entre ces deux variables il est possible d’utiliser le test de Bravais-Pearson. Cette solution a été proposée par Howel (2008). Il a utilisé dans un premier temps le test du χ^2 de Pearson et

constatant l'impossibilité de rejeter son hypothèse nulle H_0 , a décidé de procéder ainsi puisque sa variable indépendante bien que nominale était également ordinale (Howel, 2008)

Nous allons procéder de la même façon. Notre variable indépendante (X) qui est le score obtenu aux problèmes simples a deux modalités : score égal à 5 et score égal à 6. Ces deux modalités ont été codés respectivement 5 et 6. Nous allons coder 0 l'échec au problème complexe brut sous « l'habillage Arbres » et 1 la réussite à ce même problème. Il s'agit de la variable dépendante (Y). Ainsi, les 62 élèves de l'échantillon ont chacun un score pour les deux variables X et Y. Les détails du calcul du coefficient de corrélation sont proposés en annexe XIII.

r =	0,186891455
------------	--------------------

Le coefficient de corrélation calculé est inférieur au coefficient de corrélation lu dans la table au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl= 60, $r_{lu} = .214$ au seuil $.05$). Cette corrélation n'est pas significative. L'hypothèse nulle est vérifiée. Ainsi les différences de performance au problème arithmétique complexe brut, sous l'habillage « Arbres » pour les scores 5 et 6 aux problèmes simples, ne sont pas significatives.

6.1.2.2. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »

La présentation des résultats obtenus pour le groupe 2 commence par deux tableaux synthétiques. Un graphique est également disponible en annexe XIV.

	score problèmes simples ≤ 4	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
réussite problème brut	3	4	25	32
échec problème brut	19	7	14	40
	22	11	39	72

Tableau IL : Synthèse des données relatives aux 72 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».

	score problèmes simples ≤ 4	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
réussite problème brut	13.63%	36.36%	64.10%	44.44%
échec problème brut	86.36%	63.63%	35.89%	55.55%
	30.55%	15.27%	54.16%	100%

Tableau L : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 72 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème brut sous l'habillage « Livres ».

Une grande majorité des élèves ayant un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples échouent au problème complexe brut sous l'habillage « Livres » (86.36%). Dans le même temps, une minorité des élèves ayant le score maximal échouent à ce même problème brut (35.89%).

Les données recueillies montrent des résultats opposés au problème complexe sous l'habillage « Livres » pour les élèves qui ont eu un score inférieur ou égal à 4 aux problèmes simples et ceux qui ont eu un score maximal.

De plus, une majorité des élèves ayant un score égal à 5 aux problèmes simples échouent au problème brut (63.63% contre 36.36%).

Ces données montrent que plus le score est élevé aux problèmes simples et plus la performance au problème complexe brut sous « l'habillage livres » est elle aussi élevée.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score aux problèmes arithmétiques simples. Il s'agit d'une variable ordinale qui peut prendre trois valeurs : score ≤ 4 , score = 5, score = 6. La variable indépendante est ordinale car il existe une relation directe entre les scores obtenus aux problèmes simples et le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples. C'est aussi une variable nominale.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec au problème complexe brut sous « l'habillage arbres ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre ces deux variables. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « livres » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4, un score égal à 5 ou un score égal à 6.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples			
		≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Variable dépendante : Habilité problème brut « livres »	Réussite	3	4	25	32
	Échec	19	7	14	40
		22	11	39	72

Tableau LI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 , $=5$ et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous « l’habillage livres ».

Le χ^2 calculé est égal à 14.85. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu = 13.82). L’hypothèse nulle H_0 est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l’habillage livres » n’est pas la même selon le score aux problèmes arithmétiques simples. Plus le score est élevé aux problèmes simples et plus la résolution de problème complexe brut sous « l’habillage livres » est réussie.

La variable indépendante a trois modalités : score ≤ 4 , score = 5 et score = 6. Je vais tester maintenant l’hypothèse en étudiant ces modalités prises 2 à 2 : score ≤ 4 / score = 6, Score ≤ 4 / score = 5 et enfin Score =5 / score = 6.

Score ≤ 4 / score = 6 :

L’hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l’habillage livres » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et ceux ayant eu un score égal à 6 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	$= 6$	
Variable dépendante : Résultat problème brut « livres »	Réussite	3	25	28
	Échec	19	14	33
		22	39	61

Tableau LII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les scores ≤ 4 et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous « l’habillage livres ».

Le χ^2 calculé est égal à 14.43. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 10.83). L’hypothèse nulle H_0 est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l’habillage « Livres » n’est pas la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et les élèves ayant eu le score maximal de 6 aux problèmes simples. Un score maximal de 6 aux problèmes simples est suivi de meilleurs résultats au problème complexe brut sous l’habillage « Livres ».

Score ≤ 4 / score = 5:

L’hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l’habillage livres » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et ceux ayant eu un score égal à 5 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	= 5	
Variable dépendante : Résultat problème brut « Livres »	Réussite	3	4	7
	Échec	19	7	26
		22	11	33

Tableau LIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 et $=5$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous « l'habillage Livres ».

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	4,6667	2,3333	7
	Mod 2	17,333	8,6667	26
		22	11	33

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du test du χ^2 de Pearson ne sont pas réunies car 50% des cases des effectifs théoriques comportent des valeurs inférieures à 5. Il n'est donc pas possible de conclure à l'indépendance des deux variables au moyen de ce test.

Cette fois encore, il est possible de calculer un coefficient de corrélation en considérant le caractère ordinal des variables. Chaque participant a un score de 4 ou 5 sur la variable score aux problèmes arithmétiques simples et un score de 0 ou 1 sur la variable Résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ». Ce calcul concerne les 33 élèves de l'échantillon et les détails du calcul sont proposés en annexe XV.

r=	0,262071209
----	--------------------

Le coefficient de corrélation calculé est inférieur au coefficient de corrélation lu dans la table au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 31, $r_{lu} = .301$ au seuil $.05$). Cette corrélation n'est pas significative. L'hypothèse d'indépendance est vérifiée.

Score 5 / score = 6:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Livres » est la même pour les élèves ayant eu un score égal à 5 et ceux ayant eu un score égal à 6 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		= 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat problème brut « livres »	Réussite	4	25	29
	Échec	7	14	21
		11	39	50

Tableau LIV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les scores =5 et =6 aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « livres ».

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	6,38	22,62	29
	Mod 2	4,62	16,38	21
		11	39	50

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'applications ne sont pas entièrement réunies. En effet, 25% des cases des effectifs théoriques (1 case sur 4) comportent une valeur

inférieure à 5. Il n'est donc pas possible de conclure à l'indépendance de ces deux variables au moyen de ce test.

Nous pouvons, une fois encore procéder au calcul du coefficient de corrélation entre ces deux variables. Chaque participant a un score de 5 ou 6 sur la variable Score aux problèmes arithmétiques simples et un score de 1 ou 0 sur la variable Résultat au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Livres ». 50 élèves sont concernés et les détails du calcul sont proposés en annexe XVI.

r =	0,232814309
------------	--------------------

Le coefficient de corrélation calculé est inférieur au coefficient de corrélation lu dans la table au premier seuil critique acceptable (ddl = 48, r lu = .240 au seuil .05). Cette corrélation n'est pas significative et nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse d'indépendance. Compte tenu du très faible écart entre le coefficient de corrélation calculé et le coefficient de corrélation lu dans la table, il est possible d'imaginer une corrélation positive entre ces deux variables avec un échantillon plus grand.

6.1.2.3. Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures »

La présentation des résultats obtenus pour le groupe 2 commence par deux tableaux synthétiques. Un graphique est également disponible en annexe XVII.

	score problèmes simples ≤ 4	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
réussite problème brut	5	6	33	44
échec problème brut	14	6	10	30
	19	12	43	74

Tableau LV : Synthèse des données relatives aux 74 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

	score problèmes simples ≤ 4	score problèmes simples =5	Score problèmes simples =6	
réussite problème brut	26.31%	50%	76.74%	59.45%
échec problème brut	73.68%	50%	23.25%	40.54%
	25.67%	16.21%	58.10%	100%

Tableau LVI : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 74 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème brut sous l'habillage « Voitures ».

La grande majorité des élèves ayant obtenu un score inférieur ou égal à 4 échouent au problème complexe sous « l'habillage voitures » (73.68%). Dans le même temps, la grande majorité des élèves ayant obtenu un score maximal réussissent le problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » (76.74%).

Les données recueillies montrent des résultats opposés pour ces deux groupes d'élèves.

Pour les élèves ayant obtenu un score égal à 5, les performances au problème brut sous l'habillage voitures sont équilibrées. Il y a autant d'élèves qui échouent et qui réussissent.

Comme pour les autres habillages, plus le score aux problèmes simples est élevé et plus les réussites sont importantes (≤ 4 (26.31%), $= 5$ (50%), $= 6$ (76.74%)).

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score aux problèmes arithmétiques simples. Il s'agit d'une variable ordinale qui peut prendre trois valeurs : score ≤ 4 , score $= 5$, score $= 6$. La variable indépendante est ordinale car il existe une relation directe entre les scores obtenus aux problèmes simples et le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples. Elle est aussi nominale.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec au problème complexe brut sous « l'habillage voitures ».

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre ces deux variables. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4, un score égal à 5 ou un score égal à 6.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples			
		≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Variable dépendante : Habilité problème brut « Voitures »	Réussite	5	6	33	44
	Échec	14	6	10	30
		19	12	43	74

Tableau LVII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 , $=5$ et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson sont réunies puisque moins de 20% des cases des effectifs théoriques comportent des valeurs inférieures à 5.

Le χ^2 calculé est égal à 14.43. IL est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 2, χ^2 lu = 13.82). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. La distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » n'est pas la même selon le score aux problèmes arithmétiques simples. Plus le score est élevé aux problèmes simples et plus la résolution de problème complexe brut sous « l'habillage voitures » est réussie.

La variable indépendante a trois modalités : score ≤ 4 , score $= 5$ et score $= 6$. Je vais tester maintenant l'hypothèse en étudiant ces modalités prises 2 à 2 : score ≤ 4 / score $= 6$, Score ≤ 4 / score $= 5$ et enfin Score $=5$ / score $= 6$.

score ≤ 4 / score $= 6$:

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l'habillage voitures » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et ceux ayant eu un score égal à 6 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	$= 6$	
Variable dépendante : Résultat problème brut « voitures »	Réussite	5	33	38
	Échec	14	10	24
		19	43	62

Tableau LVIII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score ≤ 4 et $=6$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson sont réunies car l'effectif est suffisamment important et aucune case des effectifs théoriques comporte une valeur inférieure à 5.

Le χ^2 calculé est égal à 14.12. IL est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$ (ddl = 1, χ^2 lu = 13.82). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. La différence entre la distribution des réussites et des échecs au problème brut complexe sous « l'habillage voitures » des élèves ayant obtenu un score inférieur à 4 et la distribution des réussites et des échecs au problème brut complexe sous « l'habillage voitures » des élèves ayant obtenu un score égal à 6 est significative.

Score ≤ 4 / score = 5 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » est la même pour les élèves ayant eu un score inférieur ou égal à 4 et ceux ayant eu un score égal à 5 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		≤ 4	= 5	
Variable dépendante : Résultat problème brut « voitures »	Réussite	5	6	11
	Échec	14	6	20
		19	12	31

Tableau LIX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les scores ≤ 4 et $=5$ aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	6,741935484	4,258064516	11
	Mod 2	12,25806452	7,741935484	20
		19	12	31

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson ne sont pas entièrement réunies car une des cases des effectifs théoriques comporte une valeur inférieure à 5. Il n'est donc pas rigoureusement possible de conclure sur une éventuelle relation entre ces deux variables à partir de ce test.

Une fois de plus, il est possible de contourner cette difficulté en procédant au calcul du coefficient de corrélation de Pearson. Chaque participant a un score de 4 ou 5 sur la variable Score aux problèmes arithmétiques simples et un score de 0 ou 1 sur la variable Résultat au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Voitures ». Les résultats des 31 élèves de l'échantillon sont pris en compte et les détails du calcul sont proposés en annexe XVIII.

r = 0,241109874

Le coefficient de corrélation calculé est inférieur au coefficient de corrélation lu dans la table au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 28, r lu = .311 au seuil .05). Cette corrélation n'est pas significative. L'hypothèse d'indépendance est vérifiée.

Score =5 / score = 6 :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs au problème complexe brut sous « l'habillage voitures » est la même pour les élèves ayant eu un score égal à 5 et ceux ayant eu un score égal à 6 aux problèmes arithmétiques simples.

		Variable indépendante : Score aux problèmes simples		
		= 5	= 6	
Variable dépendante : Résultat problème brut « voitures »	Réussite	6	33	39
	Échec	6	10	16
		12	43	55

Tableau LX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les scores =5 et =6 aux problèmes simples et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	8,509090909	30,49090909	39
	Mod 2	3,490909091	12,50909091	16
		12	43	55

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'application du calcul du χ^2 de Pearson ne sont pas entièrement réunies car une des cases des effectifs théoriques comporte une

valeur inférieure à 5. Il n'est donc pas rigoureusement possible de conclure à une éventuelle relation entre ces deux variables à partir de ce test.

Il est possible de calculer le coefficient de corrélation de Pearson. Pour cela, chaque participant a un score de 5 ou 6 sur la variable Score aux problèmes arithmétiques simples et un score de 0 ou 1 sur la variable Résultat au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Voitures ». Les résultats de 55 sujets sont pris en compte et les détails du calcul sont proposés en annexe XIX.

$$r = 0,243199087$$

Le coefficient de corrélation calculé est supérieur au coefficient lu dans la table du r de Bravais-Pearson ($ddl = 53$, r lu = .228 au seuil .05). La corrélation de Pearson est significative. L'hypothèse H_0 est rejetée. Ainsi, la différence entre la distribution des réussites et des échecs au problème arithmétique complexe brut pour les élèves ayant obtenu un score égal à 5 et la distribution des réussites et des échecs au même problème complexe brut pour les élèves ayant obtenu un score égal à 6 est significative.

Dans le tableau de synthèse LXI sont récapitulées les relations entre la variable indépendante qui est le score aux problèmes arithmétiques simples et la variable dépendante qui est le résultat aux problèmes complexes bruts selon les différents habillages « Arbres », « Livres » et « Voitures ».

		Variable indépendante : Le score aux problèmes arithmétiques simples			
		Global	$\leq 4 / = 6$	$\leq 4 / = 5$	$= 5 / = 6$
Variable dépendante : Résultat aux problèmes complexes bruts	Arbres	Oui	Oui	Oui	Non
	Livres	Oui	Oui	Non	Oui
	Voitures	Oui	Oui	Non	Oui

Tableau LXI : Synthèse de l'existence ou non d'une relation entre les deux variables en fonction d'une part, des habillages et d'autre part, des scores aux problèmes simples.

Le tableau précédent est à rapprocher du tableau XLII de la section 6.1.1. Il a été montré que les scores ≤ 4 , $= 5$ et $= 6$ déterminaient pour une part la réussite ou l'échec aux problèmes complexes bruts puisque les différences entre les distributions des réussites et des échecs aux problèmes complexes bruts pour ces trois scores étaient significatives indépendamment des habillages.

En tenant compte des trois habillages, les résultats obtenus ne se retrouvent pas complètement car certaines différences ne sont pas significatives. Par exemple, les scores $= 5$ et $= 6$ aux problèmes simples ne sont pas suivis de différences significatives relativement aux distributions des réussites et des échecs aux problèmes complexes sous l'habillage « Arbres ». Le même constat est fait pour les scores ≤ 4 et $= 5$ aux problèmes simples et le problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ». Autrement dit, l'impact des connaissances arithmétiques relatives aux problèmes simples n'est pas le même selon les habillages.

En revanche, il est à noter que les différences sont toujours significatives lorsqu'il s'agit de comparer les distributions des réussites et des échecs aux problèmes bruts selon les scores ≤ 4 et $= 6$. L'acquisition des connaissances schématiques relatives aux problèmes arithmétiques simples est un élément essentiel de la réussite aux problèmes bruts quel que soit l'habillage.

Le processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes aboutit à la construction d'une représentation multi-niveaux. Au niveau sémantique, cette représentation peut être vue comme la construction d'un réseau propositionnel qui s'organise autour des connaissances schématiques relatives aux problèmes simples.

Chapitre 7 : Procédures

7.1. Choix de la procédure pour résoudre les problèmes arithmétiques complexes bruts.

Pour résoudre les problèmes arithmétiques complexes donnés sous la forme brute, les élèves ont le choix entre trois procédures. Les deux premières procédures ont été détaillées dans la partie méthodologique.

La première procédure (Proc 1) consiste à traiter d'abord les deux problèmes Combinaison pour terminer par le traitement du problème de type Changement. Sous l'habillage « Arbres » par exemple, les sujets ayant choisi cette procédure ont commencé par additionner les arbres (146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers = 569 arbres). Ils ont ensuite additionné les arbres arrachés (24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers = 101 arbres). Enfin, ils ont soustrait ces arbres arrachés aux arbres de la forêt : $569-101=468$ arbres.

La deuxième procédure consiste à traiter en premier lieu les trois problèmes de type Changement pour terminer par le traitement du problème Combinaison. Sous l'habillage « Livres » par exemple, les sujets ayant choisi la procédure 2 ont commencé par traiter les livres séparément : (156 romans – 32 romans = 124 romans), (185 bandes dessinées – 51 bandes dessinées = 134 bandes dessinées) et (247 albums – 43 albums = 204 albums). Ensuite, ils ont additionné les livres : 124 romans, 134 bandes dessinées et 204 albums = 462 livres.

Enfin, les résultats recueillis ont laissé apparaître une troisième procédure qui reste minoritaire puisque 6 élèves seulement l'ont utilisée. Cette procédure 3 est une combinaison des deux procédures précédentes. Sous l'habillage « Voitures » par exemple, les élèves commencent par additionner toutes les voitures garées dans le parking : 139 voitures au 1^{er} niveau, 146 voitures au 2^{ème} niveau et 153 voitures au 3^{ème} niveau = 438 voitures. Ensuite, ils enlèvent les 16 voitures du premier niveau qui quittent le parking : $438-16=422$. Ils enlèvent ensuite les 22 voitures du 2^{ème} niveau qui quittent le parking : $422-22=400$. Et enfin, les 25 voitures du 3^{ème} niveau qui quittent le parking : $400-25=375$.

L'objectif est de mettre en lumière des éléments qui déterminent le choix de la procédure préférentiellement choisie par élèves. Certains de ces éléments sont relatifs aux élèves eux-mêmes. Il s'agit d'une part de leur niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et d'autre part de leur niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples.

D'autres éléments sont extérieurs aux élèves. Ces éléments sont davantage liés aux énoncés comme par exemples les « habillages » ou encore les objets des énoncés.

Pour rappel, 224 élèves ont été présents aux deux épreuves et 128 d'entre eux ont résolu correctement les problèmes complexes. Parmi ces 128 élèves, 122 ont utilisé la procédure 1 ou la procédure 2. Ce sont donc les résultats de ces 122 élèves qui vont être analysés au regard de leur niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs, de leur niveau en résolution de problèmes simples et enfin des habillages sémantiques.

7.1.1. Choix de la procédure aux problèmes bruts et niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs

L'objectif est de déterminer si le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs est un élément qui influence les élèves dans le choix de la procédure pour résoudre les problèmes complexes bruts. Trois niveaux d'expertise ont été mis en évidence. Ils correspondent aux scores inférieur ou égal à 5, égal à 6 et supérieur ou égal à 7. Les résultats sont proposés dans les tableaux synthétiques LXII et LXIII. Un graphique est également disponible en annexe XX.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Procédure 1	7	12	34	53
Procédure 2	8	18	43	69
	15	30	77	122

Tableau LXII : Synthèse des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en lecture et le choix de la procédure pour résoudre les problèmes complexes bruts.

	Score à l'épreuve de compréhension du texte narratif			
	≤ 5	$= 6$	≥ 7	
Procédure 1	46.66%	40%	44.15%	43.44%
Procédure 2	53.33%	60%	55.84%	56.55%
	12.29%	24.59%	63.11%	100%

Tableau LXIII : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant le niveau d'expertise en compréhension de textes et le choix de la procédure pour résoudre les problèmes complexes bruts.

D'une façon globale, les élèves utilisent davantage la procédure 2 que la procédure 1 (56.55% contre 43.44%). De plus, pour chaque niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs considéré, la procédure 2 est toujours préférentiellement choisie.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score en compréhension de textes narratifs. Il s'agit d'une

variable ordinale qui peut prendre trois valeurs : score ≤ 5 , score = 6, score ≥ 7 . Cette variable est aussi nominale.

Le choix de la procédure pour résoudre le problème complexe brut est la variable dépendante qui peut prendre deux valeurs : procédure 1 et procédure 2.

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, les distributions des procédures 1 et 2 sont les mêmes quel que soit le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il y a indépendance entre ces deux variables nominales, j'ai eu recours au test du χ^2 de Pearson.

		Variable indépendante : Niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs		
		≤ 5	= 6	≥ 7
Variable dépendante : Le choix de la procédure	Procédure 1	7	12	34
	Procédure 2	8	18	43

Tableau LXIV : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon la variable indépendante (niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs) et la variable dépendante (le choix de la procédure).

Les conditions d'application du test du χ^2 sont réunies. Le χ^2 calculé est égal à .22. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2 , χ^2 lu = 3.84). L'hypothèse nulle H_0 est vérifiée. Il y a donc indépendance entre ces deux variables. Le choix de la procédure pour résoudre le problème complexe brut ne dépend pas du niveau d'expertise des élèves en compréhension de textes narratifs.

7.1.2. Choix de la procédure au problème brut et niveau d'expertise en problèmes arithmétiques simples

Les résultats des 122 sujets ayant résolu correctement les problèmes bruts en choisissant la procédure 1 ou la procédure 2 sont présentés dans les tableaux LXV et LXVI. Un graphique est disponible en annexe XXI

	Niveau d'expertise aux problèmes simples			
	≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Procédure 1	4	6	43	53
Procédure 2	8	13	48	69
	12	19	91	122

Tableau LXV : Synthèse des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant le choix de la procédure aux problèmes complexes bruts et le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples.

	Niveau d'expertise aux problèmes simples			
	≤ 4	$= 5$	$= 6$	
Procédure 1	33.33%	31.57%	47.25%	43.44%
Procédure 2	66.66%	68.42%	52.74%	56.55%
	9.83%	15.57%	74.59%	100%

Tableau LXVI : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant le choix de la procédure aux problèmes complexes bruts et le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples.

Comme cela a été dit dans la section 7.1.1., les sujets choisissent davantage la procédure 2 que la procédure 1 (56.55% contre 43.44%). De plus, pour chaque niveau d'expertise, cette même procédure 2 est préférentiellement choisie. Pour les élèves qui ont obtenu un score égal à 6, l'écart en terme de

pourcentage entre les deux procédures est assez faible (5.49%). En revanche, pour les élèves qui n'ont pas obtenu le score maximal cet écart est plus important (36.85% pour un score égal à 5 et 33.33% pour un score inférieur ou égal à 4). Ainsi, un niveau d'expertise élevé en résolution de problèmes simples est suivi d'une plus grande utilisation de la procédure 1 (33.33% (≤ 4), 31.57% (5), 47.25% (6)), même si elle reste globalement minoritaire.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le score aux problèmes arithmétiques simples. Il s'agit d'une variable ordinale qui peut prendre trois valeurs : score ≤ 4 , score = 5, score = 6. Cette variable est aussi nominale.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : procédure 1 / procédure 2.

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre ces deux variables. Autrement dit, la distribution des procédures 1 et 2 sont les mêmes quel que soit le score obtenu aux problèmes arithmétiques simples.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il y a indépendance entre ces deux variables nominales, j'ai eu recours au test du χ^2 de Pearson.

		Variable indépendante :		
		Niveau d'expertise aux problèmes simples		
		≤ 4	= 5	= 6
Variable dépendante	Procédure 1	4	6	43
	Procédure 2	8	13	48

Tableau LXVII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon le score =6, =5 et ≤ 4 aux problèmes simples et le choix de la procédure au problème complexe brut.

Le χ^2 calculé est égal à 2.12. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 2, χ^2 lu = 5.99). L'hypothèse nulle est vérifiée. Ainsi, il y a indépendance entre le niveau d'expertise en problèmes arithmétiques simples et le choix de la procédure pour résoudre le problème complexe brut.

7.1.3. Choix de la procédure aux problèmes bruts et habillage sémantique

L'objectif dans cette section est de déterminer si la procédure choisie par les élèves est déterminé par les habillages proposés. Le premier groupe d'élèves a eu à résoudre un problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ». Ce groupe concerne 78 élèves. Les 72 élèves du deuxième groupe ont eu à traiter un problème complexe brut sous l'habillage « Livres ». Enfin, les 74 élèves du troisième groupe ont travaillé sur un problème complexe sous l'habillage « Voitures ». Les données recueillies figurent dans les tableaux LXVIII et LXIX. Un graphique est disponible en annexe XXII.

	Habillages des problèmes complexes			
	Arbres	Livres	Voitures	
Procédure 1	17	11	25	53
Procédure 2	33	20	16	69
	50	31	41	122

Tableau LXVIII : Synthèse des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant l'habillage des problèmes complexes et le choix de la procédure pour les résoudre.

	Habillages des problèmes complexes			
	Arbres	Livres	Voitures	
Procédure 1	34%	35.48%	60.97%	43.44%
Procédure 2	66%	64.51%	39.09%	56.55%
	40.98%	25.40%	33.60%	100%

Tableau LXIX : Synthèse, sous forme de pourcentages, des données relatives aux 122 élèves de l'échantillon croisant l'habillage des problèmes complexes et le choix de la procédure pour les résoudre.

La procédure 2 est préférentiellement choisie par les élèves pour résoudre les problèmes complexes bruts sous les habillages « Arbres » et « Voitures » (66% contre 34% et 64.51% contre 35.48%). En revanche, les données obtenues s'inversent pour l'habillage « Voitures » car les élèves choisissent préférentiellement la procédure 1.

Les données recueillies montrent que le choix de la procédure n'est pas le même selon les habillages proposés.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante l'habillage des problèmes complexes bruts. Il s'agit d'une variable nominale qui peut prendre trois valeurs : « Arbres », « Livres » et « Voitures ».

Le choix de la procédure pour résoudre le problème complexe brut est la variable dépendante qui peut prendre deux valeurs : procédure 1 et procédure 2.

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que ces deux variables sont indépendantes. Autrement dit, les distributions des procédures 1 et 2 sont les mêmes quel que soit l'habillage des problèmes complexes proposées.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il y a indépendance entre ces deux variables nominales, j'ai eu recours au test du χ^2 de Pearson.

		Variable indépendante : habillage des problèmes complexes		
		Arbres	Livres	Voitures
Variable dépendante : Le choix de la procédure	Procédure 1	17	11	25
	Procédure 2	33	20	16

Tableau LXIX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 122 élèves de l'échantillon selon la variable indépendante (Les habillages des problèmes complexes) et la variable dépendante (le choix de la procédure).

Le χ^2 calculé est égal à 7.74. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 2, χ^2 lu = 5.99 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre les distributions des procédures 1 et 2 selon les habillages « Arbres », « Livres » et « Voitures » sont significatives.

Il est possible de préciser ces résultats en étudiant les modalités de la variable indépendante deux à deux : « Arbres » / « Livres », « Arbres » / « Voiture » et enfin « Livres » / « Voitures ».

Arbres » / « Livres » :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que les deux variables sont indépendantes. Autrement dit, les distributions des procédures 1 et 2 sont les mêmes pour les habillages « Arbres » et « Livres ».

		Variable indépendante : habillage des problèmes complexes	
		Arbres	Livres
Variable dépendante : Le choix de la procédure	Procédure 1	17	11
	Procédure 2	33	20

Tableau LXX: Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 81 élèves de l'échantillon selon la variable indépendante (Les habillages « Arbres » et « Livres » des problèmes complexes) et la variable dépendante (le choix de la procédure).

Le χ^2 calculé est égal à .019. Il est largement au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H0 est vérifiée. Les différences entre les distributions des procédures 1 et 2 selon les habillages « Arbres » et « Livres » ne sont pas significatives.

« Arbres » / « Voiture » :

L'hypothèse nulle H0 consiste à dire que les deux variables sont indépendantes. Autrement dit, les distributions des procédures 1 et 2 sont les mêmes pour les habillages « Arbres » et « Voitures ».

		Variable indépendante : habillage des problèmes complexes	
		Arbres	Voitures
Variable dépendante : Le choix de la procédure	Procédure 1	17	25
	Procédure 2	33	16

Tableau LXXI : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 91 élèves de l'échantillon selon la variable indépendante (Les habillages « Arbres » et « Voitures » des problèmes complexes) et la variable dépendante (le choix de la procédure).

Le χ^2 calculé est égal à 6.59. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre les distributions des procédures 1 et 2 selon les habillages « Arbres » et « Voitures » sont significatives.

« Livres » / « Voitures » :

L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire que les deux variables sont indépendantes. Autrement dit, les distributions des procédures 1 et 2 sont les mêmes pour les habillages « Livres » et « Voitures ».

		Variable indépendante : habillage des problèmes complexes	
		Livres	Voitures
Variable dépendante : Le choix de la procédure	Procédure 1	11	25
	Procédure 2	20	16

Tableau LXXII : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des 72 élèves de l'échantillon selon la variable indépendante (Les habillages « Livres » et « Voitures » des problèmes complexes) et la variable dépendante (le choix de la procédure).

Le χ^2 calculé est égal à 4.58. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre les distributions des procédures 1 et 2 selon les habillages « Livres » et « Voitures » sont significatives.

Le tableau LV synthétise les différents résultats relatifs à l'existence ou non d'une relation entre les habillages des problèmes complexes (variable indépendante) et le choix de la procédure choisie pour résoudre les problèmes complexes (variable dépendante).

	Variable indépendante : Habillage des problèmes			
	Global	« Arbres » / « Livres »	« Arbres » / « Voitures »	« Livres » / « Voitures »
Variable dépendante : Choix de la procédure	Oui	Non	Oui	Oui

Tableau LXXIII : Synthèse de l'existence ou non d'une relation entre les deux variables.

L'habillage des problèmes détermine en partie le choix de la procédure. Les habillages des deux premiers problèmes sont différents et pourtant les différences ne sont pas significatives. En revanche, chaque comparaison deux à deux faisant intervenir l'habillage « Voitures » est associée à des différences significatives.

Les objets des énoncés ont un rôle majeur. Dans les deux premiers habillages, il est question de trois objets différents : les cocotiers, les manguiers et les bananiers pour le premier et les romans, les bandes dessinées et les albums pour le deuxième. Les premiers éléments cités appartiennent à la même catégorie surordonnée arbres. Les deuxièmes appartiennent à la catégorie surordonnée Livres. En revanche, le troisième habillage ne concerne qu'un seul objet. Ainsi, le processus général de la compréhension des énoncés de

problèmes complexes étudiés aboutit à la construction d'une représentation dont le niveau sémantique est constitué d'un ensemble de propositions directement extraites de l'énoncé ou inférées qui s'organisent autour des schémas de problèmes simples. Le processus de catégorisation pourrait avoir un impact sur la construction du réseau propositionnel qui est l'aboutissement du processus de compréhension. Et le choix de la procédure dépend du nombre d'objets contenus dans les énoncés.

Chapitre 8 :

Version brute et versions aidées

8.1. Performances des élèves aux différentes versions des problèmes arithmétiques complexes.

227 élèves ont participé à la deuxième phase de la recherche. Chacun d'entre eux a eu à résoudre 5 problèmes arithmétiques à énoncés verbaux dont trois problèmes additifs complexes et 2 problèmes simples multiplicatifs qui leur ont été proposés dans un ordre précis : problème complexe brut, problème simple multiplicatif, problème complexe additif version aidée1, problème simple multiplicatif et enfin, problème complexe additif version aidée 2.

Cela a déjà été précisé dans le chapitre consacré à la méthodologie, les problèmes complexes additifs version aidée 1 sont constitués spécifiquement de questions allant dans le sens de l'utilisation de la procédure 1. Les problèmes complexes additifs version aidée 2 vont dans le sens de l'utilisation de la procédure 2. L'objectif de la section 5.4. est d'étudier l'impact de ces différentes versions sur les performances des sujets.

8.1.1. Résultats globaux des sujets aux différentes versions des problèmes arithmétiques complexes

La présentation des résultats débute par les tableaux de synthèse LXXIV, LXXV et LXXVI qui précisent les réussites et les échecs aux différentes versions. Le tableau dernièrement cité détaille le nombre d'élèves ayant répondu correctement aux différentes questions posées dans les versions aidées 1 et 2. Le détail relatif à ce dernier tableau est proposé en annexe XXIII et XXIV et XXV. Un graphique est également disponible en annexe XXVI.

	Version brute	Version aidée 1	Version aidée 2
Réussite	130	127	152
Échec	97	100	75
total	227	227	227

Tableau LXXIV : Synthèse des réussites et des échecs aux différentes versions des problèmes complexes portant sur les 227 élèves de l'échantillon.

	Version brute	Version aidée 1	Version aidée 2
Réussite	57.26%	55.94%	66.96%
Échec	42.73%	44.05%	33.03%

Tableau LXXV : Synthèse sous forme de pourcentages des réussites et des échecs aux différentes versions des problèmes complexes portant sur les 227 élèves de l'échantillon.

Problèmes bruts	Problèmes version aidée 1				Problèmes version aidée 2				
	Réponse correcte à Q1	Réponse correcte à Q2	Réponse correcte à Q finale	Réponse correcte à Q finale en utilisant Proc 2	Réponse correcte à Q1	Réponse correcte à Q2	Réponse correcte à Q3	Réponse correcte à Q finale	Réponse correcte en utilisant Proc 1
130	192	152	112	15	183	187	186	144	8
130				127				152	

Tableau LXXVI : Synthèse des réponses correctes aux différentes questions posées lors des trois versions. Le version aidée 1 comporte 3 questions et la version aidée 2 en comporte 4.

Le tableau LXXVI laisse apparaître l'utilisation de la procédure 2 par certains élèves alors même que les questions les incitaient à utiliser la procédure 1. Ils sont 15 dans ce cas. De même, certains élèves ont utilisé la procédure 1 alors même que les questions proposées les incitaient à utiliser la procédure 2. Ils sont 8 dans ce cas.

Les données recueillies montrent que les performances des élèves aux problèmes bruts et à la version aidée 1 sont très proches avec d'une part, 130 réussites contre 127 réussites (57,26% contre 55,94%) et d'autre part, 97 échecs contre 100 échecs (42,73% contre 44,05%).

La version aidée 2 indique un net accroissement des réussites avec 152 réussites (66.96%) et 75 échecs (33.03%).

L'utilisation des tests statistiques ne peut se faire en l'état car il est important de savoir précisément la position précise de ceux qui réussissent aux différentes versions, ceux qui échouent tout le temps et ceux qui ont des résultats discordants.

8.1.2.Relation entre les performances aux trois versions

Pour voir si ce sont les mêmes élèves qui échouent et réussissent aux trois problèmes complexes. L'hypothèse nulle H_0 consiste à dire qu'il y a indépendance entre les trois versions des problèmes complexes. Autrement dit, ce ne sont pas les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent aux trois problèmes.

Pour tester cette hypothèse nulle, la formule à utiliser est celle du χ^2 de Pearson. Elle a été utilisée en comparant les versions des problèmes deux à deux : version brute / version aidée1, version brute / version aidée2 et version aidée1 / version aidée2.

Version brute / version aidée 1 :

		Version brute		
		Réussite	Échec	
Version aidée 1	Réussite	98	29	127
	Échec	32	68	100
		130	97	227

Tableau LXXVII : Table de contingence qui précise la répartition des réussites et des échecs aux versions brute et aidée 1.

Il a fallu, dans un premier temps, déterminer la valeur d'une des cases centrales de ce tableau. 32 sujets ont résolu correctement le problème brut et ont échoué à la version aidée 1 dans le même temps. Les autres résultats s'obtiennent facilement. Les précisions sont apportées en annexe XXVII. Les procédures conduisant ces 32 sujets à l'échec sont proposées en annexe XXVIII.

130 élèves ont réussi à résoudre les problèmes bruts. Ils sont 98 sur ces 130 à avoir réussi également les problèmes aidés 1 (75.38%). Dans le même temps, 97 ont échoué aux problèmes bruts. Ils sont 29 seulement sur ces 97 à avoir réussi les problèmes aidés 1 (29.89%). Les données recueillies montrent des différences numériquement marquées aux problèmes aidés 1 pour ceux qui réussissent aux problèmes bruts et ceux qui échouent à ces mêmes problèmes bruts.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le résultat à la version brute. Il s'agit d'une variable nominale dichotomique qui prend les valeurs suivantes : réussite et échec à la version brute.

La variable dépendante est aussi nominale. Elle peut prendre deux valeurs : réussite et échec à la version aidée 1.

L'hypothèse nulle consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 1 est la même pour élèves qui échouent et qui réussissent aux problèmes proposés dans la version brute.

Les conditions d'application du test sont réunies. Le χ^2 calculé est égal à 46.63. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$. L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Il existe une relation entre les deux variables. Une réussite aux problèmes bruts entraîne plus de réussite aux problèmes proposés dans la version aidée 1. De même, un échec aux problèmes bruts entraîne plus d'échecs aux problèmes proposés dans la version aidée 1.

Version brute / version aidée 2 :

		Version brute		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	113	39	152
	Échec	17	58	75
		130	97	227

Tableau LXXVIII : Table de contingence qui précise la répartition des réussites et des échecs aux versions brute et aidée 2.

Comme pour le tableau LXXVII, il a fallu dans un premier temps déterminer la valeur d'une des cases centrales. L'effectif des élèves ayant simultanément réussi à résoudre le problème dans sa version brute et échoué à le résoudre dans la version aidée 2 a été déterminé. Ils sont 17 dans ce cas. Les autres données s'obtiennent facilement. Le tableau détaillé est en annexe XXIX. Les procédures conduisant ces 17 sujets à l'échec sont disponibles en annexe XXX.

130 élèves ont réussi à résoudre les problèmes bruts. Ils sont 113 sur ces 130 à avoir réussi également les problèmes aidés 1 (86.92%). Dans le même

temps, 97 ont échoué aux problèmes bruts. Ils sont 39 sur ces 97 à avoir réussi les problèmes aidés 1 (40.20%). Les données recueillies montrent des différences numériquement marquées aux problèmes aidés 2 pour ceux qui réussissent aux problèmes bruts et ceux qui échouent à ces mêmes problèmes bruts.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le résultat à la version brute. Il s'agit d'une variable nominale dichotomique qui prend les valeurs suivantes : réussite et échec à la version brute.

La variable dépendante est aussi nominale. Elle peut prendre deux valeurs : réussite à la version aidée 2 et échec à la version aidée 2.

L'hypothèse nulle consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2 est la même pour élèves qui échouent et réussissent aux problèmes proposés dans la version brute.

Le χ^2 calculé est égal à 54.8. IL est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$. L'hypothèse nulle est rejetée. Il n'y a pas indépendance entre les deux variables. Une réussite aux problèmes bruts entraîne plus de réussite aux problèmes proposés dans une version aidée 2. De même, un échec aux problèmes bruts entraîne plus d'échecs aux problèmes proposés dans la version aidée 2.

Version aidée 1 / version aidée 2 :

		Version aidée 1		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	107	45	152
	Échec	20	55	75
		127	100	227

Tableau LXXIX : Table de contingence qui précise la répartition des réussites et des échecs aux versions aidée 1 et aidée 2.

127 élèves ont réussi à résoudre les problèmes aidés 1. Ils sont 107 sur ces 127 à avoir réussi également les problèmes aidés 2 (80.31%). Dans le même temps, 100 élèves ont échoué aux problèmes aidés 1. Ils sont 45 seulement à avoir réussi les problèmes aidés 2 (45%). Les données recueillies montrent des différences numériquement marquées aux problèmes aidés 2 pour ceux qui réussissent aux problèmes aidés 1 et ceux qui échouent à ces mêmes problèmes aidés 1.

Pour vérifier statistiquement ces données, j'ai pris pour variable indépendante le résultat à la version aidée 1. Il s'agit d'une variable nominale dichotomique qui prend les valeurs suivantes : réussite et échec à la version aidée 1.

La variable dépendante est aussi nominale. Elle peut prendre deux valeurs : réussite et échec à la version aidée 2.

L'hypothèse nulle consiste à dire que la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2 est la même pour élèves qui échouent et qui réussissent aux problèmes proposés dans la version aidée 1.

Le χ^2 calculé est égal à 38.96. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .001$. L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les deux variables ne sont pas indépendantes. Une réussite aux problèmes proposés dans la version aidée 1 entraîne plus de réussite aux problèmes proposés dans la version aidée 2.

Il y a une bonne relation entre les trois versions des problèmes complexes. Ce sont les mêmes élèves qui réussissent et qui échouent. Les problèmes « Livres » et « Voitures » sont isomorphes au problème « Arbres » puisqu'ils peuvent être résolus en utilisant la même procédure. Les différentes versions diffèrent principalement sur les questions proposées. Ces questions n'ont donc qu'une portée limitée.

8.1.3.Efficacité des versions

8.1.3.1. Résultats discordants aux trois versions

Comme nous l'avons précédemment montré et précisé, il y a une bonne relation entre les performances aux trois versions. C'est-à-dire que ce sont les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent. L'objectif maintenant est d'étudier les résultats discordants ou divergents. L'étude porte donc sur les élèves qui réussissent à l'une des versions et qui échouent à une autre version. Cette étude permet de savoir si l'une ou l'autre des versions proposées est plus facile à traiter qu'une autre.

L'analyse porte toujours sur les 227 élèves qui ont eu à résoudre les trois problèmes complexes et elle s'appuie sur les trois tables de contingence déjà utilisées dans la section précédente. Une attention particulière est portée aux données divergentes qui sont signalées par les cases colorées.

Comme précédemment, les comparaisons sont faites deux à deux : version brute / version aidée 1, version brute / version aidée 2 et enfin version aidée 1 / version aidée 2.

Version brute / version aidée 1

		Version brute		
		Réussite	Échec	
Version aidée 1	Réussite	98	29	127
	Échec	32	68	100
		130	97	227

Tableau LXXX : Table de contingence qui précise la répartition simultanée des élèves selon les variables Résultat (réussite / échec) à la version brute et Résultat (réussite/échec) à la version aidée 1.

61 élèves ont des résultats différents aux deux versions des problèmes. 29 élèves ont simultanément échoué à résoudre le problème dans la version brute et réussi à le résoudre dans la version aidée 1. Dans le même temps, 32 élèves ont simultanément réussi à la version brute et échoué ensuite à la version aidée 1.

Les données recueillies montrent, à peu de choses près, qu'il y a autant d'élèves qui ont échoué à la version brute et réussi à la version aidée 1 que d'élèves qui ont réussi à la version brute et échoué à la version aidée 1.

Pour vérifier statistiquement ces données discordantes, nous avons pris pour variable indépendante la version du problème proposé aux élèves. Il s'agit d'une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : version brute, version aidée 1.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle, la distribution des réussites et les échecs des élèves est la même pour les deux versions du problème, nous avons eu recours au test du χ^2 de Mac Nemar comme le propose Chanquoy (2005) dans cette situation précise.

Le χ^2 calculé est égal à .14. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (À ddl = 1, χ^2 lu = 3.84 au seuil .05). L'hypothèse nulle est vérifiée. La distribution des réussites et des échecs est la même pour les deux versions. Les problèmes proposés dans la version aidée 1 ne sont pas plus faciles à résoudre que les problèmes proposés dans la version brute.

Les questions proposées dans la version aidée 1 ne semblent pas être une aide pour résoudre les problèmes arithmétiques complexes étudiés.

Toutefois, comme précédemment précisée, 29 élèves sur 97 (29,89%) qui avaient échoué à la version brute ont réussi à résoudre le problème dans sa version aidée 1. La version aidée 1 a un impact positif sur les élèves qui avaient échoué aux problèmes bruts. Les questions proposées à ces élèves facilitent l'activation, l'instanciation et l'organisation des connaissances arithmétiques.

Dans le même temps, 32 élèves sur 130 (29,61%) qui avaient réussi à la version brute ont échoué à la version aidée 1. La version aidée 1 a un impact négatif sur les élèves qui avaient réussi à résoudre le problème donné dans sa version brute. Le fait de proposer des questions facilitant l'activation, l'instanciation et l'organisation des schémas de problèmes entraîne une perturbation cognitive transitoire conduisant certains élèves à l'échec. Le détail des procédures utilisées par ces 32 sujets indique, pour au moins la moitié d'entre eux, deux types d'erreurs d'anticipation : des erreurs relatives à l'utilisation de la procédure 1 par anticipation d'une part, et des erreurs relatives à l'utilisation anticipée de la procédure 2 d'autre part (annexe XXVIII).

Version brute / version aidée 2 :

		Version brute		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	113	39	152
	Échec	17	58	75
		130	97	227

Tableau LXXXI : Table de contingence qui précise la répartition des réussites et des échecs aux versions brute et aidée 2.

56 élèves ont des résultats différents aux deux versions des problèmes. 39 élèves ont simultanément échoué à la version brute et réussi à la version aidée 2. Dans le même temps, 17 élèves ont simultanément réussi à la version brute et échoué à la version aidée 1.

Les données recueillies montrent qu'il y a deux fois plus d'élèves qui ont échoué à la version brute et réussi à la version aidée 2 que d'élèves qui ont réussi à la version brute et échoué à la version aidée 1.

Pour vérifier statistiquement ces données discordantes, j'ai pris pour variable indépendante la version du problème proposé aux élèves. Il s'agit d'une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : version brute, version aidée 2.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle, la distribution des réussites et les échecs des élèves est la même pour les deux versions du problème, nous avons eu recours, comme précédemment, au test du χ^2 de Mac Nemar comme précédemment.

Le χ^2 calculé est égal à 8.64. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl =1, χ^2 lu = 7.88). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Les différences entre la distribution des réussites et des échecs à la version brute et la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2 sont significatives.

Les deux versions ne conduisent pas au même taux de réussite. Les problèmes complexes proposés dans la version aidée 2 sont plus faciles à résoudre que les problèmes proposés dans la version brute.

Les questions proposées aux élèves semblent être une aide à la résolution des problèmes. Ces questions peuvent les aider de deux façons. D'une part, elles permettent l'activation et l'instanciation des schémas simples de problèmes et d'autre part, elles favorisent l'organisation de ces schémas simples dans une structure plus globale adaptée à la situation.

Comme précédemment, un certain nombre d'élèves ont échoué à la version aidée 2 alors même qu'ils avaient réussi à résoudre les problèmes donnés dans la version brute. Cependant, ils sont moins nombreux dans cette situation que dans la précédente (17 contre 32). La raison mise en avant est la même que précédemment à savoir que contraindre les élèves à contrôler leurs processus alors même qu'ils sont automatisés entraîne une perturbation cognitive transitoire les conduit à l'échec. Les données recueillies montrent malgré tout que plus de la moitié de ces élèves ont répondu correctement aux trois questions précédant la question finale. Dans ce cas de figure, des erreurs causées par anticipation semblent être peu nombreuses.

Version aidée 1 / version aidée 2

		Version aidée 1		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	107	45	152
	Échec	20	55	75
		127	100	227

Tableau LXXXII : Table de contingence qui précise la répartition des réussites et des échecs aux versions aidée 1 et aidée 2.

65 élèves ont des résultats différents aux deux versions des problèmes. 45 élèves ont simultanément échoué à la version aidée 1 et réussi à la version aidée 2. Dans le même temps, 20 élèves ont simultanément réussi à la version aidée 1 et échoué à la version aidée 2. Les données recueillies montrent qu'il y a deux fois plus d'élèves qui ont échoué à la version aidée 1 et réussi à la version aidée 2 que d'élèves qui ont échoué à la version aidée 2 et réussi à la version aidée 1.

Pour vérifier statistiquement ces données discordantes, j'ai pris pour variable indépendante la version du problème proposé aux élèves. Il s'agit d'une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : version aidée 1, version aidée 2.

La variable dépendante est aussi une variable nominale qui peut prendre deux valeurs : réussite et échec.

Pour tester l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle, la distribution des réussites et les échecs des élèves est la même pour les deux versions du problème, nous avons eu recours au test du χ^2 de Mac Nemar.

Le χ^2 calculé est égal à 9.61. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl = 1, χ^2 lu = 7.88 au seuil .005). L'hypothèse nulle est rejetée. Les

différences entre la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 1 et la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2 sont significatives.

Les problèmes donnés dans la version aidée 2 sont plus faciles à résoudre que les problèmes donnés dans la version 1.

Les questions proposées dans la version aidée 2 facilitent la résolution des problèmes complexes. Elles permettent d'une part, l'activation des connaissances arithmétiques nécessaires et d'autre part, l'organisation de ces dernières dans une structure plus générale.

8.1.3.2. Étude de cas de certains élèves ayant des résultats discordants

Cette section va permettre d'illustrer les propos de la section précédente en proposant l'étude de cas de 8 sujets qui ont eu des résultats discordants au problème complexe brut et à l'une des deux versions aidées. Le tableau LXXXIII indique les résultats discordants des sujets étudiés.

Sujet	Réussite problème brut	Réussite problème aidée1	Réussite problème aidée2
E117J	Oui	Non	
E1 5 A14	Oui	Non	
E11J	Non	Oui	
E123J	Non	Oui	
E120PC	Oui		Non
EL15RM	Oui		Non
E11RM	Non		Oui
E1 8 GB1	Non		Oui

Tableau LXXXIII : Résultats discordants de 8 sujets à au moins deux versions différentes.

Étude de cas 1 : el17J

Le sujet el17J est scolarisé à l'école de Joinville. Cette école se situe au centre-ville de Saint-Denis. Lors de la première phase, cet élève a obtenu un score égal à 5 aux problèmes simples et un score égal à 7 en compréhension de texte narratif. Lors de la deuxième phase, il a eu à résoudre, comme les autres élèves, 5 problèmes arithmétiques. Pour lui, le problème complexe brut est sous l'habillage « Arbres » et le problème complexe version aidée1 sous l'habillage « Livres ».

Il a préférentiellement choisi de résoudre le problème complexe brut en utilisant la procédure 2. Il a donc traité les 146 cocotiers, les 175 manguiers et les 248 bananiers séparément : $146 - 24 = 122$, $175 - 42 = 133$ et $248 - 35 = 213$. Puis il a additionné les résultats obtenus : $122 \text{ cocotiers} + 133 \text{ manguiers} + 213 \text{ bananiers} = 468 \text{ arbres}$.

Le problème complexe donné dans la version aidée1 qui est sous l'habillage « Livres » impose aux élèves la procédure 1. Le sujet el17J répond correctement à la première question en additionnant tous les livres de la bibliothèque : $156 \text{ romans} + 185 \text{ bandes dessinées} + 247 \text{ albums} = 588 \text{ livres}$. Il répond correctement à la question 2 en additionnant tous les livres qui ont été empruntés : $32 \text{ romans} + 51 \text{ bandes dessinées} + 43 \text{ albums} = 126 \text{ livres}$. Lorsqu'il répond à la question finale, il ne tient pas compte des réponses précédentes. Il traite les livres séparément : $156 - 32 = 124$ (romans), $185 - 51 = 134$ (bandes dessinées) et $247 - 43 = 204$ (albums). Il utilise partiellement la procédure 2 puisqu'au lieu d'additionner les résultats trouvés, il effectue une soustraction en utilisant les trois résultats : $124 - 134 - 204 = 10$.

Pour cet élève, les questions allant dans le sens de l'utilisation de la procédure 1 pas ne sont pas efficaces même si il répond correctement aux deux premières questions.

Ce sujet élabore très tôt une représentation de l'énoncé. Le niveau sémantique de cette représentation serait constitué, lui-même, d'au moins deux

niveaux : microstructural et macrostructural. Proposer des questions allant dans le sens de l'utilisation d'une autre procédure initialement mis en œuvre par l'élève ne garantit pas une modification de la représentation au niveau macrostructural. En revanche, ces mêmes questions lui permettent d'adopter partiellement un autre point de vue. L'observation précise des données recueillies montre une hésitation de la part de el17J puisque l'addition permettant d'accéder à la bonne réponse à la question finale a été effectuée mais effacée par la suite. Le problème complexe proposé dans la version aidée a un impact négatif pour el17J. Ses résultats sont en annexes XXXI et XXXII.

Étude de cas 2 : E15A14

Le sujet E15A14 est scolarisé dans l'école élémentaire qui se situe au centre-ville de Petite-Île. Cet élève a obtenu un score égal à 5 pour les problèmes simples et un score égal à 5 également pour le test de compréhension du texte narratif. Lors de la deuxième phase, il a eu à résoudre un problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Voiture » et son problème complexe version aidée¹ était sous l'habillage « Arbres ».

Pour résoudre le problème complexe brut, il commence par traiter séparément les voitures des différents niveaux : $139-16 = 126$ (1^{er} niveau), $146-22 = 124$ (2^{ème} niveau) et $153-25 = 128$ (3^{ème} niveau). Il additionne ensuite les résultats obtenus pour répondre à la question posée : $124 + 126 + 128 = 378$. Il procède donc préférentiellement en choisissant la procédure 2.

Le problème complexe version aidée¹ impose l'utilisation de la procédure 1. Il répond correctement à la question 1 en calculant le nombre total d'arbres dans la forêt : 146 cocotiers + 174 manguiers (erreur) + 248 bananiers = 565 arbres (erreur). Pour répondre à la question 2, il utilise la procédure 2 et traite séparément les cocotiers, les manguiers et les bananiers. Sa réponse à la question 2 est la réponse correcte à la question 3. Cet élève anticipe donc la question 3. Ainsi, lorsqu'il s'agit de répondre effectivement à la question 3, il effectue une

soustraction en utilisant les nombres obtenus aux deux questions précédentes : $565 - 468 = 97$. L'erreur produite est une erreur d'anticipation.

Le processus de compréhension mis en œuvre par cet élève aboutit à la construction, très tôt, d'une représentation qui est associée à la procédure 2. Lui imposer des questions allant dans le sens de la procédure 1 ne lui permet pas de résoudre le problème. Une fois de plus, il est possible d'interpréter ces résultats en termes de niveaux microstructural et macrostructural. Proposer des questions allant dans le sens de la procédure 1 ne garantit pas la modification du niveau macrostructural de la représentation. Ces questions entraînent une perturbation cognitive transitoire. Les résultats de el5A14 sont proposés en annexes XXXIII et XXXIV.

Étude de cas 3 : E11J :

E11J est un élève scolarisé au centre-ville de Saint-Denis. Lors de la phase 1, il a obtenu respectivement les scores 6 et 7 en résolution de problèmes simples et en compréhension de texte narratif. Lors de la phase 2, il a eu à résoudre le problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres » et le problème version aidée 1 sous l'habillage « Livres ». Cet élève a échoué à la version brute et a réussi à la version aidée1.

D'après les données recueillies, dans la version brute, il commence par traiter les arbres séparément en effectuant la soustraction $146 - 24$. Cette soustraction correspond aux cocotiers restés debout. Il effectue une seconde soustraction correspondant aux bananiers restés debout. Lorsque ces deux soustractions sont effectuées, il finit par additionner les deux résultats obtenus ($122+213= 335$) et répondre qu'il reste 335 arbres debout. Les résultats obtenus lors de la première phase laisse à penser que les schémas de problèmes acquis sont complets (score = 6) et que les processus cognitifs mis en jeu pour construire la représentation sémantique fonctionne correctement et de façon plutôt automatisée (score = 7). Il est peu probable que cet oubli soit consécutif à

une surcharge cognitive. Si pour cet élève, le concept MANGUIER n'appartient pas au lexique mental de ce sujet et qu'il ne met pas en œuvre un processus de production d'inférence passerelle pour lier ce concept aux autres concepts évoqué dans l'énoncé alors, les propositions 175 [MANGUIER], ARRACHER[CYCLONE, 42 [MANGUIER]] seront inhibées et n'intégreront pas les schémas de problèmes activés.

Le problème arithmétique proposé dans la version aidée 1 est parfaitement résolu. Cet élève fait preuve d'une certaine flexibilité cognitive dans le sens où naturellement il a utilisé partiellement la procédure 2 pour résoudre le problème brut et la procédure 1 pour résoudre le problème aidé 1. Les résultats de el1J sont proposés en annexes XXXV et XXXVI.

Étude de cas 4 : El23J :

Cet élève est, lui aussi, scolarisé au centre-ville de Saint-Denis. IL est dans la même classe que el1J. Il a obtenu respectivement les scores 6 et 6 en résolution de problèmes arithmétiques simples et en compréhension de textes narratifs. Les données recueillies permettent de situer ce sujet comme étant expert en résolution de problèmes simples et comme étant de niveau intermédiaire en compréhension de textes narratifs.

Lors de la résolution du problème brut, il commence par traiter les arbres séparément. Il détermine donc le nombre de cocotiers restés debout ($146-24=132$), le nombre de manguiers restés debout ($175-42=133$) et le nombre de bananiers encore debout ($248-35=213$). Au lieu d'additionner ces résultats intermédiaires il procède à deux soustractions ($((213-133)-\dots)$). Le dernier terme de la soustraction reste difficile à lire. Il est possible que le concept ARRACHER soit fortement lié à la soustraction. Dans ce cas, le sujet privilégie cette opération. Le problème proposé dans la version aidée est parfaitement résolu. Les résultats de el23J sont proposés en annexes XXXVII et XXXVIII.

Étude de cas 5 : E120PC :

Pour les deux élèves précédents, la version aidée1 n'allait pas dans le sens de la construction d'une représentation associée à la procédure qu'ils avaient initialement choisie à la version brute. Même si elle va dans ce sens initial, les questions ne favorisent pas systématiquement la réussite. C'est le cas du sujet e120PC. Cette élève est scolarisée dans une école de Saint-Denis et plus précisément dans le quartier de la Bretagne qui se situe sur les hauteurs de la ville. Elle a obtenu un score égal à 6 (score maximal) aux problèmes simples et un score égal à 7 en compréhension de texte narratif. Son problème complexe brut était sous l'habillage « Arbres » et son problème complexe version aidée 2 était sous l'habillage « Voitures ».

Elle a résolu le problème complexe brut correctement en utilisant la procédure 2. Elle a traité les arbres séparément : $146-24 = 122$, $175-42 = 133$ et $248-35 = 213$. Puis elle a additionné les résultats obtenus: 122 cocotiers + 133 manguiers + 213 bananiers = 468 arbres.

Le problème complexe proposé dans la version aidée2 va dans le sens de l'utilisation de la procédure 2. Elle répond correctement aux trois questions concernant les trois niveaux du parking : $139-16 = 123$ (1^{er} niveau), $146 - 22 = 124$ (2^{ème} niveau) et $153 - 25 = 128$ (3^{ème} niveau). Lorsqu'il s'agit de répondre à la question finale, elle effectue deux additions et une soustraction. La première addition permet de trouver l'ensemble des voitures qui sont encore garées : $123 + 124 + 128 = 375$. Ce résultat est celui qui est demandé. Au lieu de s'en tenir à ce résultat, elle effectue une autre addition qui permet de trouver l'ensemble des voitures garées au début sur ce parking à trois niveaux : $139 + 123 + 153 = 422$. Enfin elle soustrait 375 à 422 . Ainsi, même en allant dans le sens de la procédure initialement choisie par l'élève, les questions la perturbent.

Il est possible d'interpréter ces résultats en termes de processus automatisé et processus contrôlé. Le fait de demander à un sujet de contrôler un processus déjà automatisé peut être source d'erreur.

Il n'est pas exclu que le problème complexe version aidée 1 soit à l'origine de cette erreur. Nous avons essayé de contrôler ce biais en intercalant un problème arithmétique simple entre les problèmes complexes. Les résultats de cette élève sont proposés en annexes XXXIX et XL.

Étude de cas 6 : E115RM :

Cet élève est scolarisé dans une école de la ville du Port. Il a obtenu un score égal à 6 aux problèmes simples (score maximal) et un score égal à 7 en compréhension de texte narratif. Son problème complexe brut était sous l'habillage « Voitures » et le problème complexe version aidée 2 sous l'habillage « Livres ».

Le problème complexe brut a été résolu en mettant en œuvre la procédure 1. Il a d'abord déterminé le nombre total de voitures garées dans le parking au début : $139 + 146 + 153 = 438$. Il a ensuite déterminé le nombre total de voitures quittant le parking : $16 + 22 + 25 = 63$. Enfin, il a soustrait 63 à 438 pour obtenir le nombre de voitures encore garées.

Le problème complexe proposé dans la version aidée 2 impose l'utilisation de la procédure 2. Il répond correctement aux trois premières questions. Elles permettent de déterminer les livres qui restent pris séparément : $156 - 32 = 124$ romans, $185 - 51 = 134$ bandes dessinées et $247 - 43 = 204$. Pour répondre à la question finale, il additionne la totalité des livres qui sont dans la bibliothèque : $156 + 185 + 247 = 588$. Cet élève a préférentiellement choisi la procédure 1 pour résoudre le problème complexe brut. La version aidée 2 impose la procédure 2. Pourtant, il ne semble pas commettre une erreur d'anticipation puisqu'il n'engage que très partiellement la procédure 1. L'habillage du problème peut être à l'origine de cette erreur. Les données recueillies relativement à E115RM sont en annexes XLI et XLII.

Étude de cas 7 : El1RM :

Cette élève est scolarisé dans la ville du Port. Elle a obtenu respectivement les scores 6 et 5 à la résolution des problèmes arithmétiques simples et compréhension de textes narratifs. Ses résultats permettent de la situer comme étant expert en résolution de problèmes simples (score = 6). Ses résultats en compréhension la situent dans le niveau le plus faible même si elle a obtenu le score le plus élevé de cette catégorie.

Elle devait résoudre le problème « Voitures » dans la version brute et le problème « Livres » dans la version aidée 2.

Pour résoudre le problème brut, elle commence par déterminer le nombre de voitures qui reste sur chacun des niveaux du parking : $139-16=123$, $146-22=124$ et $153-25=128$. Ainsi, même s'il n'y a qu'un seul concept, ce sujet préfère traiter les voitures garées selon le niveau où elles se situent. Il est possible que chez ce sujet, le mode de catégorisation préférentiellement mis en œuvre soit celui pour lequel les objets hétérogènes entretiennent entre eux des rapports de contiguïté spatial. Par opposition à ce mode de catégorisation schématique, le mode de catégorisation ensembliste est, lui, régi par le principe de substituabilité.

Lorsque le nombre de voitures toujours garés pour chaque niveau est déterminé, cette élève propose une soustraction à trois termes ($123-124-128=1$). Pour elle, il a donc une voiture encore garée. Cette façon de résoudre le problème brut « Voitures » n'est pas sans rappeler la façon dont el23J résout son problème brut « Arbres ».

Le problème arithmétique complexe proposé dans la version aidée 2 est parfaitement résolu. Les résultats de el1RM sont proposés en annexes XLIII et XLIV.

Étude de cas 8 : El8GB1 :

Cette élève est scolarisée à Grands-Bois. Il s'agit d'un quartier de la ville de Saint-Pierre, éloigné du centre-ville. Les scores obtenus par cette élève lors de la phase 1 sont respectivement 6 et 6. Lors de la seconde phase, elle devait résoudre le problème complexe « Livres » dans la version brute et le problème « Arbres » dans la version aidée 2.

Pour résoudre le problème brut, ce sujet construit une représentation sémantique qui va dans le sens de l'utilisation de la procédure 1. Elle commence donc par additionner l'ensemble des livres : $156+185+247 = 588$. Ensuite, d'après le document fourni, elle veut effectuer la soustraction $588-32-51-43$ en colonnes. Cette opération témoigne d'une bonne compréhension de l'énoncé. Cependant, cette soustraction ne débouche pas sur un résultat. Elle effectue donc les soustractions suivantes : $588-32= 556$, $588-51=537$ et $588-43$. Elle termine par additionner les résultats obtenus : $556+537+545= 1638$. Cette étude de cas est intéressante puisqu'elle illustre le fait qu'un élève puisse comprendre le problème complexe dans sa globalité sans réussir à le résoudre. L'échec provient dans ce cas de connaissances procédurales incomplètes.

Le problème proposé dans la version aidée 2 est résolu parfaitement. Les résultats de el8GB1 sont proposés en annexes XLV et XLVI.

8.1.4.Impact des versions aidée1 et aidée2 : élèves experts / élèves non-experts aux problèmes complexes bruts

Il existe une relation entre les trois versions des problèmes complexes proposés aux élèves. Ce sont les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent. Dans le même temps, les problèmes arithmétiques complexes donnés dans la version aidée 2 s'avèrent plus facile à résoudre que les problèmes proposés dans les versions brute et aidée1. Dans la section précédente, nous avons mis en

évidence le fait que même les élèves qui avaient réussi à résoudre les problèmes complexes bruts pouvaient échouer aux problèmes complexes donnés dans les versions aidées.

Notre objectif est, ici, d'étudier l'impact des versions aidées 1 et 2 d'une part, sur les élèves qui ont réussi à résoudre les problèmes bruts (élèves experts) et d'autre part, sur les élèves qui ont échoué à ces mêmes problèmes arithmétiques (non-experts). Il s'agit précisément, pour chacun de ces échantillons, d'étudier d'une part, s'il existe une relation entre les différentes versions des problèmes en utilisant le test du χ^2 de Pearson et d'autre part, de voir si l'une ou l'autre des versions est plus facile à résoudre au moyen, cette fois, du test du χ^2 de Mac Nemar.

8.1.4.1. Élèves experts

130 élèves ont résolu correctement les problèmes complexes donnés dans la version brute. Les mêmes hypothèses nulles proposées aux sections 8.1.2. et 8.1.3. sont formulées pour cet échantillon :

H01 : Il y a indépendance entre les versions 1 et 2 pour les élèves experts.

H02 : La distribution des réussites et des échecs aux versions aidée 1 et aidée 2 sont les mêmes pour les élèves experts.

Comme cela a été précisé précédemment, la première hypothèse nulle sera vérifiée au moyen du test du χ^2 de Pearson tandis que la seconde vérifiée au moyen du test du χ^2 de Mac Nemar. La vérification de ces deux hypothèses nulles s'appuie sur une nouvelle table de contingence.

		Version aidée 1		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	88	25	113
	Échec	10	7	17
		98	32	130

Tableau LXXXIV: Table de contingence qui précise la répartition des 130 élèves experts selon les réussites et les échecs aux versions aidée 1 et aidée 2.

88 élèves sur les 98 qui ont réussi la version aidée 1 ont réussi aussi la version aidée 2 (89,79%). Cette donnée montre qu'une majorité des élèves résolvant correctement les problèmes dans la version aidée1 arrivent à résoudre les problèmes proposés dans la version aidée2. Une majorité des sujets experts font preuve d'une flexibilité cognitive puisqu'ils utilisent les deux procédures.

Dans le même temps, 25 élèves sur les 32 qui ont échoué à la version aidée 1 ont réussi aussi la version aidée 2 (78,12%). Cette donnée montre qu'une majorité des élèves experts ayant échoué à la version aidée 1 réussissent à la version aidée 2. Chez les élèves experts, un échec à la version aidée1 n'entraîne pas majoritairement un échec à la version aidée2. C'est même le contraire.

98 élèves experts ont résolu avec succès les problèmes proposés dans la version aidée 1 (75.38%) contre 113 dans la version aidée 2 (86.92%). Il sont 15 de plus dans la version aidée 2 (11.53%). Les données recueillies montrent un taux de réussite plus élevé à la version aidée 2 chez les élèves experts.

La première hypothèse nulle H01 consiste à dire qu'il y a indépendance entre les deux versions aidées pour les élèves experts. Autrement dit, la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2 est la même pour les élèves experts qui ont réussi à résoudre les problèmes proposés dans la version

aidée 1 et les élèves experts qui ont échoué à la version aidée 1. Pour tester cette hypothèse nulle, nous avons eu recours au test du χ^2 de Pearson.

Effectifs théoriques		Facteur 1		
		Mod1	Mod2	
Facteur 2	Mod 1	85,18461538	27,81538462	113
	Mod 2	12,81538462	4,184615385	17
		98	32	130

Calcul du χ^2 de Pearson

Les conditions d'applications du test ne sont pas entièrement remplies puisqu'une valeur d'une des cases des effectifs théoriques est inférieure à 5. Cela correspond à plus de 20% des cases des effectifs théoriques. Il n'est donc pas possible de conclure à partir de ce test.

Il est possible de tester l'hypothèse nulle H01 en calculant le coefficient de Bravais-Pearson puisque les deux variables considérées sont aussi ordinales en considérant que la réussite sera associée à un score égale à 1 et l'échec à un score égale à 0.

r=	0,149117762
-----------	--------------------

Pour le premier seuil critique acceptable .05, le tableau de Bravais-Pearson indique des r lus égaux à .165 et .135 pour les effectifs respectivement égaux à 100 et 150. Aucune information n'est disponible pour des effectifs compris entre 100 et 150. Or notre effectif est de 130 et le r calculé est, lui aussi, compris entre .165 et .135. D'après le tableau proposé par Chanquoy (2005), il n'est donc pas possible de conclure au moyen de ce test non plus. Certains auteurs comme Cadet (1996) suggère de choisir le r lu de la table correspondant aux degrés de liberté le plus proche de celui du plan expérimental lorsque ces nombres sont proches. Dans notre cas, ddl = 128. Les deux degrés de liberté susceptibles d'être pris en considération sont ddl = 100 et ddl =150. Ces deux valeurs sont

relativement éloignées de 128. Les deux tests utilisés ne permettent pas de conclure au rejet ou à la vérification H01.

Pour sortir de cette impasse nous faisons le choix de passer outre le fait qu'une valeur des effectifs théoriques soit inférieure à 5. Premièrement, Howell (2008) affirme que cette valeur, fixée à 5, n'est pas toujours respectée, y compris par lui-même. Ensuite, Chanquoy (2005) retient non pas la valeur 5 mais 10.

Ainsi, le χ^2 calculé est égal à 2.89. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$. (χ^2 calculé = 2,89 et χ^2 lu = 3.84). L'hypothèse nulle H01 n'est donc pas rejetée. Il y a indépendance entre les deux variables pour les élèves experts.

La deuxième hypothèse nulle consiste à dire que pour les élèves experts la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 1 est identique à la distribution des réussites et des échecs à la version aidée 2. Pour tester cette hypothèse nulle H0, nous avons eu recours au test du χ^2 de Mac Nemar. Ce test tient compte des résultats discordants.

La valeur de la case n4 est inférieure à 10. Nous utilisons le test du χ^2 de Mac Nemar avec la correction de Yates pour petits effectifs.

Le χ^2 calculé est égal à 5.6. Il est supérieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (ddl=1, χ^2 lu = 3.84). L'hypothèse nulle est rejetée. Les deux distributions des réussites et des échecs aux versions aidée 1 et aidée 2 sont significativement différentes chez les élèves experts. Les problèmes proposés dans la version aidée 2 sont plus faciles à résoudre que les problèmes proposés dans la version aidée 1 pour les élèves experts.

Par définition, les élèves experts ont résolu correctement les problèmes complexes proposés dans la version brute. Cela témoigne de l'acquisition d'un schéma de connaissance (un schéma de problème) adapté à la situation

proposée. De plus, dans la version brute, les élèves experts utilisent majoritairement la procédure correspondant à la version aidée² qui consiste à traiter séparément les objets avant de les regrouper dans une catégorie superordonnée.

La résolution des problèmes arithmétiques complexes proposés dans les versions aidée 1 et aidée 2 impose une activité de compréhension qui, du point de vue de la psychologie cognitive, aboutit à la construction d'une représentation qui intègre des propositions directement extraites de l'énoncé, des propositions inférées mais aussi des schémas de problèmes arithmétiques simples. L'organisation de ces différents éléments est déterminée, pour une part, par les forces de liaisons qui les unissent. Les élèves experts utilisent majoritairement la procédure 2 de façon naturelle (71/124 : 57.25%). Ainsi, pour la majorité d'entre eux, les questions associées à la version aidée 2 ne leur imposeraient pas une réorganisation du réseau sémantique construit initialement, mais pourraient, au contraire, renforcer les liaisons déjà existantes.

En revanche, les questions posées dans la version aidée 1 imposent majoritairement aux élèves experts une réorganisation cognitive puisque naturellement ils utilisent la procédure 2. Cette réorganisation pourrait entraîner une perturbation cognitive transitoire. Les données du tableau LXVI illustrent un peu plus les propos ci-dessus.

Procédure préférentiellement choisie pour résoudre les problèmes bruts		Réponse correcte aux trois questions de la version aidée 1	Réponse correcte aux quatre questions de la version aidée 2.
Procédure 1	53	41	37
Procédure 2	71	39	61

Tableau LXXXV : Réponse correcte aux différentes questions des versions aidées 1 et 2 selon la procédure naturellement choisie lors de la résolution du problème arithmétique complexe brut.

8.1.4.2. Les élèves non-experts

		Version aidée 1		
		Réussite	Échec	
Version aidée 2	Réussite	19	20	39
	Échec	10	48	58
		29	68	97

Tableau LXXXVI : Table de contingence qui précise la répartition des 97 élèves non-experts selon les réussites et les échecs aux versions aidée 1 et aidée 2.

97 élèves n'ont pas résolu correctement les problèmes complexes donnés dans la version brute. Parmi eux, 29 élèves ont réussi à résoudre les problèmes arithmétiques complexes donnés dans la version aidée 1 (29.89%). 19 élèves sur ces 29 ont réussi à résoudre les problèmes aidés 2 (65.51%). Ces élèves font donc preuve d'une certaine flexibilité cognitive. Dans le même temps, ils sont 68 à échouer aux problèmes aidés 1 (70.10%) et ils sont 20 sur ces 68 à réussir les problèmes aidés 2 (29.41%). Les données recueillies montrent des taux de réussite aux problèmes aidés 2 différents chez les non-experts entre ceux qui ont réussi les problèmes aidés 1 et ceux qui ont échoué à ces mêmes problèmes aidés 1 (65.51% contre 29.41%).

D'autre part, 30 élèves non-experts ont des résultats discordants. Ils sont deux fois plus nombreux à simultanément échouer aux problèmes aidés 1 et réussir les problèmes aidés 2 que simultanément réussir les problèmes aidés 1 et échouer aux problèmes aidés 2.

Les mêmes hypothèses nulles formulées pour les sujets experts sont émises pour les sujets non-experts :

H01 : Il y a indépendance entre les versions aidée 1 et aidée 2 pour les élèves non-experts.

H02 : La distribution des réussites et des échecs aux versions aidée 1 et aidée 2 sont les mêmes pour les élèves non-experts.

La première hypothèse nulle H01 est testée au moyen du test du χ^2 de Pearson. Le χ^2 calculé est égal à 11.02. Il est supérieur au χ^2 lu au seuil de $p < .005$ (ddl = 1, χ^2 lu au seuil .005 = 7.88). L'hypothèse nulle H01 est rejetée. Chez les élèves non-experts ce sont les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent les problèmes aidés 1 et les problèmes aidés 2.

Ces élèves non-experts n'ont pas réussi à résoudre les problèmes complexes bruts. Le processus de compréhension aboutit à l'élaboration d'une représentation multiniveaux dont le niveau sémantique est lui-même multiniveaux puisqu'il existe les niveaux microstructurale et macrostructurale.

La représentation élaborée par ces sujets n'est pas adaptée à la situation. Cela signifie qu'ils n'ont pas réussi à construire le sens global du texte. Pour une minorité d'entre eux (29 sur 97 pour la version aidée 1 et 39 sur 97 pour la version aidée 2) les questions contribuent à la construction de ce sens global. Or les questions proposées insistent davantage sur le niveau micro-structurale. En quoi ces questions contribuent-elles, malgré tout, à la compréhension globale pour certains de ces sujets. Il est possible d'interpréter cela en termes de charge mentale. Ces questions, aussi bien celles de la version aidée 1 que celles de la version aidée 2, aideraient les élèves à organiser les informations à prendre en considération.

Pour une majorité d'entre eux les questions contribuent à une compréhension partielle des énoncés, mais n'ont pas d'impact quant à la compréhension globale.

La deuxième hypothèse nulle H02 est vérifiée au moyen du test du χ^2 de Mac Nemar. Ce test prend en considération les résultats discordants uniquement. Le χ^2 calculé est égal à 3.33. Il est inférieur au χ^2 lu au premier seuil critique acceptable de $p < .05$ (χ^2 lu au seuil $.05 = 3.84$). L'hypothèse nulle H02 est vérifiée. Chez les élèves non-experts, la version aidée 2 n'est pas plus facile à résoudre que la version aidée 1. Le traitement de ces énoncés par ces sujets non-experts s'effectue de façon ascendante puisqu'ils n'ont pas encore acquis les connaissances arithmétiques suffisantes pour un traitement descendant. Les questions proposées dans les deux versions insistent sur un traitement ascendant puisqu'il s'agit de résoudre les problèmes pas à pas.

Toutefois, 29 élèves non-experts réussissent la version aidée 1 (29.89%) alors qu'ils sont 39 à réussir la version aidée 2 (40,20%).

Chapitre 9 : Discussion

9.1. Rappel des hypothèses

Cette recherche avait pour objectif d'étudier le processus général de la compréhension de textes appliqué aux énoncés de problèmes arithmétiques additifs complexes. Elle s'est appuyée prioritairement sur les travaux de Kintsch (1978, 1983, 1988, 1993 et 1998). Ce chercheur a, en effet, développé un modèle de la compréhension de textes compatible avec les données recueillies dans le domaine des mathématiques relativement aux problèmes arithmétiques simples. Son modèle tient compte à la fois des processus généraux de son modèle général et des connaissances spécifiques à la résolution de problèmes : les connaissances arithmétiques.

Le modèle de compréhension le plus abouti est celui de la Construction-Intégration (1988 et 1998). Dans cette version, il insiste beaucoup moins sur les deux niveaux (microstructure et macrostructure) du niveau sémantique et met en avant un traitement davantage ascendant. Il tient compte, de façon plus précise, des connaissances du lecteur. Pour cet auteur, le produit final du processus de compréhension est un réseau associatif qui entrelace ou combine les propositions directement extraites des entrées linguistiques de l'énoncé et les connaissances conceptuelles du lecteur. Ce produit final est élaboré de façon cyclique et met en jeu une succession des phases de Construction-Intégration. Lors des phases de constructions, une grande potentialité d'inférences existe et c'est au cours de la phase d'intégration que le réseau se stabilise par un mécanisme de renforcement / affaiblissement des liaisons dans le réseau.

Le processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes qui combinent des problèmes de types Changement et Combinaison aboutit donc à l'élaboration d'une représentation qui est vue comme un réseau sémantique constitué des propositions directement extraites des énoncés, de certaines propositions inférées, des hypothèses arithmétiques de nature

schématique ou propositionnelle et des actions attachées à ces schémas ; c'est-à-dire l'addition et la soustraction.

L'élaboration de la représentation est un processus général qui est valable quel que soit le texte considéré. L'élaboration de ce réseau associatif est mise en œuvre à chaque fois qu'un sujet doit comprendre un discours écrit ou entendu. Nous faisons l'hypothèse de l'existence d'une relation entre la performance à un test de compréhension de textes narratifs et la performance à la résolution de problèmes arithmétiques complexes.

La compréhension de textes est fortement tributaire des connaissances antérieures des lecteurs du sujet traité dans les textes. L'une des particularités des énoncés de problèmes réside dans le fait que les connaissances nécessaires à leur compréhension sont des connaissances, entre autres, arithmétiques. Puisque nos énoncés combinent des problèmes de type Combinaison et Changement, les connaissances sont précisément les schémas PARTIE-TOUT et TRANSFERT. Ainsi, nous faisons l'hypothèse qu'il existe une relation entre la performance à la résolution des problèmes simples et la performance aux problèmes complexes.

La compréhension des problèmes complexes ne se résume pas à l'activation et la particularisation des schémas PARTIE-TOUT et TRANSFERT. Elle procède davantage d'une élaboration d'un nouveau schéma combinant les deux schémas précédents. Cette élaboration s'effectue en mémoire de travail. Elle est de capacité limitée et a une double fonction de stockage et de traitement. Ces deux fonctions sont coûteuses cognitivement et les ressources qui leur sont allouées sont flexibles. Réduire le coût cognitif de l'une ou l'autre de ces fonctions irait dans le sens d'une amélioration des performances des sujets. Ainsi, le fait de leur proposer des questions favorisant d'une part l'activation des schémas de problèmes appropriés et d'autre part leur organisation améliorerait leurs performances.

9.2. Rappel méthodologique

Trois énoncés de problèmes sur des thèmes différents ont été construits : arbres, livres et voitures. Chacun d'eux a été proposé dans trois versions différentes : brute, aidée 1 et aidée 2. Les sujets participant à la recherche ont eu à résoudre chacun un problème arithmétique donné dans la version brute, un autre dans la version aidée 1 et enfin un dernier dans la version aidée 2. Entre chacun de ces problèmes arithmétiques complexes, les sujets devaient également résoudre des problèmes multiplicatifs.

Trois groupes de sujets ont été construits. Le groupe 1 a un effectif de 78 élèves, le deuxième un effectif de 72 et enfin le dernier un effectif de 74. L'équivalence des groupes a été recherchée. Cette équivalence concerne d'une part, le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et d'autre part le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples. Les groupes G1 et G3 d'une part et les groupes G2 et G3 d'autre part sont équivalents du point de vue des deux variables. En revanche, les groupes G1 et G2 ne sont que partiellement équivalents puisque les différences de distributions des élèves selon le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs sont significatives.

9.3. Types de textes et processus de compréhension

9.3.1.Élaboration d'un réseau sémantique propositionnel

Les résultats globaux obtenus dans la section 5.1 montrent qu'il existe une relation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la performance en résolution de problèmes arithmétiques complexes. Cette relation est confirmée lorsque les modalités de la variable indépendante sont prises deux à deux. L'existence de cette relation s'interprète en termes de mise en œuvre, au moins partielle, de processus identiques dans les deux activités de compréhension.

En effet, selon Kintsch (1983) le processus général de la compréhension de textes consiste à élaborer en mémoire de travail une représentation multi-niveaux (surface, sémantique et situationnel). Pour s'en tenir au niveau sémantique de la représentation, son élaboration nécessite l'activation des concepts à partir des mots perçus, l'élaboration des propositions directement extraites du texte par l'activation de structures prédicatives ou encore la mise en œuvre d'un processus de production d'inférences. Ce processus de production d'inférences intervient d'une part, localement pour combler des « trous sémantiques » entre deux propositions voisines et d'autre part, globalement et de façon récursive, pour élaborer des macropropositions afin de rattacher les micropropositions extraites du texte à des propositions correspondant davantage à un résumé du contenu du texte à lire ou à comprendre (Kintsch, 1978, 1988, Guindon et Kintsch, 1984).

L'existence des différents niveaux microstructural et macrostructural du niveau sémantique de la représentation pour les problèmes simples a été discutée par Kintsch et Greeno (1985). Ces auteurs allaient dans le sens d'une réduction de la macrostructure à la microstructure puisque d'une part, les énoncés étaient relativement courts et d'autre part, tous les éléments étaient importants pour

comprendre et résoudre les problèmes. Le débat reste ouvert pour les problèmes complexes pour la simple raison qu'ils n'ont pas été étudiés par les auteurs.

Or, les traductions propositionnelles des énoncés choisis aboutissent à l'extraction respectivement de 14, 19 et 23 propositions pour les énoncés « Arbres », « Livres » et « Voitures » (Tableau XIV, méthodologie). Il faut ajouter d'une part, les propositions qui sont nécessaires pour combler les trous sémantiques et d'autre part, celles qui sont optionnelles. Ainsi, le nombre de propositions à traiter dépasse les capacités limitées de la mémoire de travail puisque selon Kinstch et Van Dijk (1978), le nombre de propositions qu'il est possible de traiter est compris entre 7 et 12. Le processus de compréhension de nos énoncés exige la mise en œuvre de plusieurs cycles de traitement et la mise en œuvre du processus de production de macropropositions. À ce moment de la discussion, il n'est pas nécessaire de préciser la nature de ces macropropositions.

La mise en réseau des différentes propositions est un processus majeur du processus général de la compréhension. La construction de ce réseau s'effectue par cycles répétés de phases de Construction-Intégration (1988). Lorsqu'un ensemble de propositions est traité dans un cycle, la cohérence est recherchée, la production d'inférences est mise en œuvre au moins localement. Parallèlement, certaines autres propositions sont inhibées. Ces inhibitions sont effectivement indispensables car au-delà des inférences nécessaires certaines autres propositions sont inférées de façon optionnelle selon la théorie de la propagation de l'activation. Lors de la phase d'intégration, certaines d'entre elles ne seront pas gardées. Certaines autres propositions substantifiques (les macropropositions) sont gardées en mémoire de travail en même temps qu'une autre série de propositions entre dans le système de traitement. Au fur et à mesure que le lecteur avance, les micropropositions sont extraites et parallèlement, l'élaboration de la représentation à différents niveaux plus globaux s'effectue.

Ces différents processus sont mis en œuvre de façon complexe et peut être coûteux cognitivement selon le niveau d'expertise des sujets. Pour des lecteurs experts, ces processus sont mis en œuvre de façon automatique. Chez les lecteurs non-experts, ils peuvent d'une part, être mis en œuvre de façon incorrecte et aboutir à un taux d'échec important et d'autre part, être mis en œuvre correctement mais dans ce cas, ils sont davantage contrôlés et nécessitent beaucoup de ressources cognitives. Ces ressources ne seraient plus disponibles pour la mise en œuvre des autres processus comme l'activation des hypothèses arithmétiques et leur sélection par exemples. Guindon et Kintsch (1984) rappellent, par exemple, que le processus d'élaboration macropropositionnelle peut ne pas être mis en œuvre si le processus de décodage (local decoding process) est grande consommatrice de ressources cognitives.

Les résultats obtenus suggèrent que la résolution de problèmes complexes débute par une activité de compréhension de textes qui nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de processus communs aux textes narratifs et aux énoncés de problèmes arithmétiques. Le processus macropropositionnel se retrouverait, lui aussi, dans les deux activités de compréhension.

Riley, Greeno et Heller (1983) ont particulièrement étudié la qualité des connaissances arithmétiques pour résoudre correctement les problèmes. Le modèle de Kintsch et Greeno (1985) s'appuie d'ailleurs, sur ces connaissances arithmétiques. Les résultats obtenus dans notre étude indiquent que les difficultés des élèves interviendraient également au moment de l'élaboration de la base de texte : activation des concepts, élaboration des micropropositions, inférences pour combler les trous et/ou pour réduire l'information. Les difficultés d'ordre syntaxique ont été certes abordées par Kintsch (1987, 1988) mais sur les problèmes de type Comparaison uniquement.

9.3.2. Impact des habillages dans l'élaboration de la représentation

9.3.2.1. « Arbres » et « Livres »

Les groupes 1 et 2 ne sont que partiellement équivalents puisque les distributions des élèves selon les différents niveaux d'expertise en compréhension sont significativement différentes.

Les résultats obtenus pour ces deux groupes en résolution de problèmes complexes sont différents. Les différences de performance en résolution de problème complexe brut sous l'habillage « Arbres » selon le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs ne sont pas globalement significatives alors qu'elles le sont sous l'habillage « Livres ».

Le fait que le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs ne soit pas globalement un élément déterminant dans la performance des élèves du groupe 1 à résoudre le problème complexe narratif brut sous l'habillage « Arbres » suggère que la compréhension de cet énoncé et la construction d'une représentation adéquate du problème ont été facilitées. D'ailleurs, ce problème complexe brut a été, effectivement, le mieux résolu puisque 52 élèves sur 78 (66.66%) utilisent une procédure adaptée.

L'aisance à résoudre le problème « Arbres » et à construire une représentation satisfaisante peut s'interpréter de différentes manières. Cette facilité à construire la représentation interviendrait à différents niveaux : au niveau de l'extraction des propositions, au niveau de la production d'inférences, au niveau du nombre de propositions à traiter ou encore au niveau du profil des élèves. Détaillons ces éléments.

Elle pourrait provenir premièrement d'une plus grande facilité pour les élèves à extraire les micropropositions à partir de l'énoncé « Arbres » qu'à partir de l'énoncé « Livres ». Et ces propositions sont essentielles à la construction de la représentation lors d'un traitement ascendant. L'extraction des

propositions à partir des énoncés n'est pas un élément constitutif du modèle de Kintsch (1978, 1983 et 1988). Pourtant cet élément étudié malgré tout par Kintsch (1974) est essentiel. C'est à partir de ces dernières en effet, que la mise en œuvre du processus d'inférences de liaison s'effectue, que s'élaborent les éventuelles macropropositions ou encore que sont activées les hypothèses arithmétiques auxquelles sont attachées les procédures de résolution.

La validité psychologique des micropropositions a été montrée (Kintsch et Keenan, 1973, Ratcliff et McKoon, 1978). L'élaboration de telles propositions s'appuie sur l'acquisition de certaines structures prédicatives associées aux prédicats verbaux ARRACHER et EMPRUNTER. L'extraction des micropropositions P8 : ARRACHER [CYCLONE, P9] et P9 : 24 [COCOTIER] de la traduction propositionnelle de l'énoncé « Arbres » d'une part, et l'extraction des micropropositions P10 : EMPRUNTER [ENFANT, P11] et P11 : 32 [ROMAN] de la traduction propositionnelle de l'énoncé « Livres » sont-elles identiques ? Il est question ici de la catégorisation des verbes d'action et de la construction des propositions à partir de ces prédicats.

Elle pourrait provenir ensuite de la mise en œuvre du processus de production d'inférences passerelles. Elle est nécessaire lorsque des « trous sémantiques » existent localement entre deux propositions. La traduction propositionnelle des deux premiers énoncés montre que dans les deux cas, les mêmes inférences passerelles sont nécessaires pour combler les trous sémantiques liés aux actions. Il s'agit d'inférer précisément les propositions P5, P7, P10 et P12 pour combler les « trous sémantiques » du réseau propositionnel associé à l'énoncé du problème « Arbres » et les propositions P6, P8, P12 et P14 pour l'énoncé « Livres » (Partie 2). Ces propositions sont surlignées en vert dans les traductions propositionnelles de la partie méthodologique. Ce processus interviendrait dans les deux situations et suggère que cet élément ne détermine pas la réussite ou l'échec à la résolution de ces deux problèmes complexes.

Comme nous l'avions précédemment vu lors de l'étude du processus général de la compréhension de textes, la production d'inférences concerne également les macropropositions. L'élaboration de ces dernières est nécessaire car le réseau sémantique auquel aboutit le processus de compréhension est constitué de nombreuses propositions. Le traitement de ces dernières ne peut se faire en une seule fois. Il s'effectue de façon cyclique (Kinstch, 1978). Parmi les propositions traitées au cours d'un cycle, un certain nombre d'entre elles proviennent des traitements précédents puisque à chaque fin de cycle, certaines propositions essentielles restent en mémoire de travail. Ce sont ces dernières qui vont permettre de lier les propositions entre deux cycles de traitement consécutifs. De ce point de vue, l'élaboration de certaines macropropositions concerne les concepts associés aux objets mentionnés dans les énoncés. Il s'agit précisément de macropropositions associées au processus ou à la règle de généralisation (Kintsch, 1978, 1983, 1998). L'élaboration de ces macropropositions pourrait être un élément déterminant du processus général de la compréhension de textes. En effet, dans chacun des deux énoncés « Arbres » et « Livres », sont évoqués trois objets. L'élaboration des macropropositions conceptuelles pourrait être facilitée par la plus ou moins grande facilité à mettre en relation les trois concepts activés dans le réseau de connaissances du lecteur à partir des mots perçus avec un concept superordonné de ce même réseau de connaissances. Il se pourrait en effet, que les concepts MANGUIER, COCOTIER et BANANIER soient plus facilement mis en relation avec le concept ARBRE que ne le soient ROMAN, ALBUM et BANDE DESSINEE avec le concept superordonné LIVRE. La distance sémantique des différents concepts avec le concept superordonné LIVRE dans la construction du réseau sémantique pourrait engendrer un conflit cognitif préjudiciable au fonctionnement efficace du processus de compréhension. Or, de ces macropropositions sont produites des inférences davantage liées aux hypothèses

arithmétiques. En effet, s'il y a une quantité x de romans qui sont aussi des livres, une quantité y d'albums qui sont aussi des livres et une quantité z de bandes dessinées qui sont, eux aussi, des livres alors il y a une quantité $x+y+z$ de livres. Ainsi, si ces macropropositions ne sont pas produites, des schémas de problèmes ne seront pas suffisamment activés. Kintsch (1978, 1983 et 1988) n'a pas beaucoup insisté sur l'articulation entre le processus de compréhension de textes et le processus de catégorisation. Pourtant ce dernier processus cité serait au cœur de la compréhension comme le souligne Rossi (2008).

L'impact relativement limité du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs sur la résolution du problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres » pourrait également provenir non pas de la plus ou moins grande facilité à extraire les propositions directement des énoncés mais du nombre de propositions à traiter. L'énoncé « Arbres » comporte 14 propositions tandis que l'énoncé « Livres » en comporte 17. Des études rapportées par Riley, Greeno et Heller (1983) ont mis en évidence l'importance de la longueur des énoncés. Il semblerait que le nombre de propositions à traiter lors de la compréhension des énoncés de problèmes serait également un facteur à ne pas négliger. Cependant, dans notre situation précise, cet impact reste difficile à mesurer puisque de ces propositions initiales un certain nombre de propositions nécessaires et optionnelles sont inférées dans les deux situations pour aboutir à un réseau sémantique fortement cohérent.

Enfin, un autre élément peut expliquer ces différences entre G1 et G2, puisqu'ils ne sont pas équivalents, il est possible d'interpréter l'impact différent du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs en termes de fréquence différente de bons et moins bons lecteurs. En effet, dans le groupe 1, ils sont 46 lecteurs experts soit 58,97% de la totalité de l'effectif du groupe 1. Dans le groupe 2, seulement 43,05% des élèves de l'effectif total du groupe sont

des lecteurs experts. Cette interprétation n'est pas incompatible avec celles proposées précédemment.

Un dernier élément relativement à la résolution du problème « Arbres » accrédite notre hypothèse. En effet, même si le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs n'est pas globalement un élément déterminant dans la performance en résolution du problème, les distributions des réussites et des échecs à ce problème selon les niveaux d'expertise ≤ 5 et ≥ 7 sont significativement différentes. Même si, la compréhension de l'énoncé est facilitée, les moins bons lecteurs échouent majoritairement (63.63%). Pour ces élèves, la représentation construite est éloignée de celle adaptée à la résolution du problème. Cela suggère que certains processus impliqués dans le processus général de la compréhension de l'énoncé lors d'un traitement ascendant ne sont pas mis en œuvre correctement ou très coûteux cognitivement.

9.3.2.2. « Arbres » et « Voitures »

Les groupes G1 et G3 sont globalement équivalents d'une part, au regard des distributions des élèves selon le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et d'autre part, au regard de la distribution des élèves selon le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples.

Pour le groupe 3, le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs est globalement un élément déterminant de la performance en résolution de problème complexe « Voitures ». Le fait que cet élément soit déterminant autorise, à nouveau, plusieurs interprétations. Les mêmes arguments utilisés dans la section précédente peuvent expliquer les différences rencontrées.

Premièrement, l'extraction des propositions et leur mise en relation seraient plus difficiles à partir de l'énoncé « Voitures » qu'à partir de l'énoncé « Arbres ». Même s'il est question dans le problème « Voitures » d'un seul

objet, certaines propositions interviennent pour la description spatiale du parking puisque le parking est construit sur 3 niveaux. Ces mêmes propositions pourraient être à l'origine de l'élaboration d'une représentation moins adaptée à la situation.

De plus, la construction d'un réseau sémantique cohérent nécessite la mise en œuvre du processus de production d'inférences pour combler les « trous sémantiques » dus aux ellipses d'une part, liées aux actions comme dans l'énoncé « Arbres » et d'autre part, liées aux objets (méthodologie, tableau XIII). La mise en œuvre du processus de production d'inférences est donc plus fréquente pour comprendre l'énoncé « Voitures » que pour comprendre l'énoncé « Arbres ». Le processus de production d'inférences passerelles dans le processus général de la compréhension est confirmé (Kintsch, 1978, 1983 et 1988).

Ensuite, le nombre de propositions à traiter pourrait également être un élément explicatif car à partir de l'énoncé « Voitures » il est possible d'en extraire 23 tandis que ce nombre tombe à 14 pour l'énoncé « Arbres ». Si la comparaison des énoncés « Arbres » et « Livres » laisse apparaître peu de différences entre les nombres de propositions respectifs, la comparaison des énoncés « Arbres » et « Voitures » aboutit à une différence de 9 propositions. De plus, le nombre de propositions qu'il est nécessaire d'inférer est plus important pour l'énoncé « Voitures » que pour l'énoncé « Arbres ». Ainsi, le traitement ascendant de l'énoncé « Voitures » exigerait un coût cognitif plus important que celui de l'énoncé « Arbres ». Ce coût cognitif plus important pourrait provenir d'une part, du nombre de propositions à traiter et d'autre part, du nombre d'inférences à produire. Ce sont autant de ressources en moins pour l'activation et la sélection des hypothèses arithmétiques adéquates. Cette interprétation doit être prise avec précaution car le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples influence le sens du traitement. En effet, un niveau d'expertise élevé en résolution de problèmes favorise un traitement dirigé

par les concepts et non dirigé par les données. Dans ce cas, ce sont des blocs de connaissances qu'il s'agit de prendre en considération (Chanquoy et al. 2007). Le nombre de proposition à traiter deviendrait moins déterminant.

Enfin, le nombre d'objets contenus dans un énoncé ne détermine pas la difficulté de ce dernier puisque le problème « Arbres » fournit un meilleur taux de réussite que le problème « Voitures ». Ces taux sont respectivement de 66.66% et 59.45%.

9.3.2.3. « Livres » et « Voitures »

Les groupes 2 et 3 sont globalement équivalents au regard du niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs puisque l'hypothèse nulle selon laquelle les distributions des élèves du groupe 2 et du groupe 3 selon cette variable sont identiques est vérifiée. Ces deux groupes sont globalement équivalents également au regard du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples puisque l'hypothèse nulle selon laquelle les distributions des élèves selon cette variable sont identiques est vérifiée. Pour ces deux groupes, globalement (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7), le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs est un élément déterminant relativement à la résolution des problèmes arithmétiques complexes « Livres » et « Voitures ».

Ces deux énoncés sont ceux pour lesquels le nombre de propositions qu'il est possible d'extraire directement sont les plus élevés : 19 pour l'énoncé « Livres » et 23 pour l'énoncé « Voitures ». Il serait donc possible, qu'au-delà d'un certain seuil, le nombre de propositions à traiter deviendrait un facteur déterminant. Ce seuil reste difficile à définir car le nombre d'inférences que les élèves produisent n'est pas connu. Ces inférences optionnelles peuvent être approchées en s'inspirant de la procédure informelle proposée par Kintsch (1988) qui consiste à demander à quelques personnes de fournir des associations libres à la lecture de l'énoncé. Les associations libres partagées par les différentes personnes seront considérées comme des inférences optionnelles

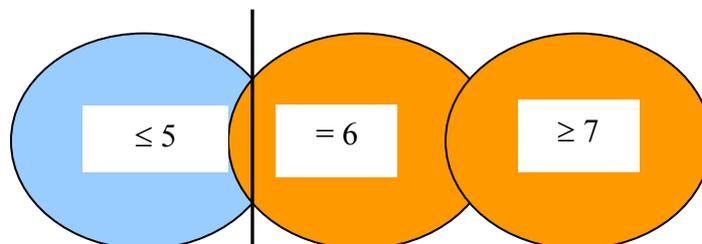
fortement probables. Il faut malgré tout garder à l'esprit que le nombre de propositions optionnelles inférées effectivement reste limité car la mémoire de travail a une capacité limitée de traitement.

Les modalités de la variable indépendante prises deux à deux montrent que les niveaux d'expertise ≤ 5 et ≥ 7 sont déterminants pour la résolution des deux problèmes complexes bruts « Livres » et « Voitures » puisque les élèves appartenant à ces deux groupes distincts obtiennent des résultats significativement différents dans les deux cas. Pour le groupe 2 (Livres), les élèves dont les niveaux d'expertises en compréhension de textes narratifs sont respectivement associés aux scores ≤ 5 et ≥ 7 obtiennent les taux de réussite de 14.81% et 61.29%. Pour le groupe 3 (Voitures), les élèves dont les niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs sont respectivement associés aux scores ≤ 5 et ≥ 7 obtiennent des taux de réussite de 46.66% et 77.77%. Cet élément confirme d'une part, les résultats globaux déjà obtenus indépendamment des habillages et d'autre part, le résultat obtenu pour le problème complexe brut « Arbres ». Ainsi, quel que soit l'habillage, l'impact des niveaux ≤ 5 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs est déterminant. Kinstch et Greeno (1985) et Kinstch (1988) ont beaucoup insisté sur les connaissances spécifiques tels que les schémas d'ensemble ou les schémas de problèmes liées à la compréhension et à la résolution de problèmes arithmétiques simples. Nos résultats suggèrent, qu'au-delà de ces connaissances spécifiques, la résolution de problèmes arithmétiques complexes s'appuie également sur des processus généraux d'élaboration et de mise en réseaux d'unités sémantiques dépassant les typologies textuelles. Nos résultats confirment l'importance de constituer un réseau propositionnelle cohérent s'appuyant sur la base de texte.

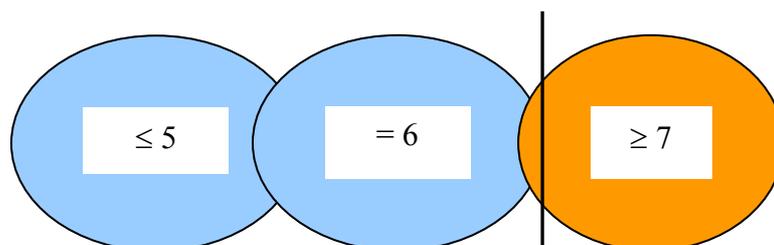
Comme nous le signalions précédemment, certaines différences existent malgré tout pour les groupes 2 et 3. Pour le groupe 2, la distinction = 6 et ≥ 7

n'engendre pas de différences significatives. Pour le groupe 3 en revanche, c'est la distinction ≤ 5 et $= 6$ qui ne donne pas de différences significatives. Les schémas ci-dessous illustrent ces distinctions.

Groupe 2 : Livres



Groupe 3 : Voitures



Ces distinctions entre les groupes 2 et 3 suggèrent que la compréhension de l'énoncé « Voitures » serait plus difficile puisque seul les lecteurs experts arrivent majoritairement à résoudre correctement ce problème arithmétique complexe (77.77%). Les élèves qui ne sont pas encore experts (≤ 5 et $= 6$) échouent majoritairement à la résolution de ce problème (53.33% et 60.86%).

La non-distinction entre les niveaux d'expertise $= 6$ et ≥ 7 pour le problème « Livres » suggère, à l'inverse, que cet énoncé serait plus facile à comprendre

puisque même les élèves qui ne sont pas totalement experts (= 6) résolvent majoritairement ce problème avec succès. Les élèves dont les niveaux en compréhension de textes narratifs sont = 6 ou ≥ 7 réussissent majoritairement (64.28% et 61.21%). Seuls les élèves appartenant au sous-groupe ≤ 5 échouent majoritairement (85.18%).

Ces deux éléments à savoir la non-distinction = 6 et ≥ 7 pour l'énoncé « Livres » et la non-distinction ≤ 5 et = 6 pour l'énoncé « Voitures » seraient compatibles avec l'idée que la compréhension du problème « Voitures » serait plus exigeante. Cette exigence pourrait provenir d'une part, du nombre de propositions qu'il est possible d'extraire directement : 17 contre 23. Elle pourrait provenir d'autre part du nombre d'inférences nécessaires à la construction d'un réseau sémantique stable. Pour les élèves non-experts en compréhension de textes, ce processus de production d'inférences passerelles ne serait pas encore automatisé et coûteux cognitivement. Les ressources allouées à la production de ces inférences réduiraient d'autant les ressources disponibles pour les autres traitements comme l'élaboration de la macrostructure ou encore la production des inférences stratégiques liées aux hypothèses arithmétiques. Ce résultat est d'autant plus intéressant que les deux groupes sont complètement équivalents au regard des niveaux d'expertise = 6 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs.

Le processus de production d'inférences de liaison semble être à l'œuvre également lors de la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques (Kintsch, 1978, 1983, 1988). Cet élément confirme la pertinence du modèle de Construction-Intégration.

Un élément pourrait contredire les interprétations précédentes. En effet, le problème « Livres » est le problème pour lequel, globalement, le taux de réussite est le plus faible (44.44%). Ce taux passe à 59.45% pour le problème « Voitures ». Comment alors expliquer le fait que le dernier énoncé soit plus exigeant du point de vue du processus de compréhension et qu'en même temps,

il fournit un meilleur taux de réussite ? Cette contradiction n'en est pas une au regard des effectifs respectifs des élèves associés au niveau d'expertise ≤ 5 . Pour le problème « Livres », ils sont 27 à appartenir à ce sous-groupe. Ils sont seulement 15 pour le problème « Voitures ». En ne tenant pas compte des résultats de ces deux groupes, les taux de réussite sont respectivement 62.22% et 62.71%.

Deux éléments explicatifs ont retenu particulièrement notre attention lors de la comparaison du traitement des deux énoncés « Livres » et « Voitures » : le nombre de propositions à traiter et la production d'inférences. D'un point de vue méthodologique, il serait intéressant de proposer, à nouveau, l'énoncé « Voitures ». Il serait proposé à 4 groupes d'élèves.

Dans un premier temps, à deux groupes d'élèves dont le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples serait le niveau intermédiaire. Certains d'entre eux auraient un niveau d'expertise intermédiaire en compréhension de textes narratifs (G1) et les autres auraient un niveau d'expertise élevé en compréhension de textes narratifs (G2). Le fait de contrôler le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples et de faire en sorte que ce niveau soit intermédiaire est nécessaire pour imposer un traitement ascendant.

Dans un second temps, il serait intéressant de proposer ces mêmes énoncés à des élèves dont le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples serait élevé. Certains d'entre eux, dans ce nouveau cas de figure, auraient un niveau d'expertise intermédiaire en compréhension de textes narratifs (G3) et les autres, un niveau d'expertise élevé en compréhension de textes narratifs (G4).

Des différences significatives entre les groupes G1 et G2 et des différences non significatives entre les groupes G3 et G4 confirmeraient l'impact déterminant de la production d'inférences passerelles dans la construction de la représentation du contenu de l'énoncé de problème et de son coût cognitif important.

9.4. Connaissances arithmétiques et processus de compréhension

9.4.1. Rôle déterminant des connaissances arithmétiques

L'objectif de notre recherche, rappelons-le, était l'étude du processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes. Notre deuxième hypothèse à consister à affirmer l'existence d'une relation entre le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples et la performance en résolution de problèmes arithmétiques complexes.

Dans cette section, nous allons discuter des résultats obtenus dans au chapitre 6.

Globalement, les résultats obtenus montrent qu'il existe une relation entre le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples et la performance en résolution de problèmes arithmétiques complexes. Trois niveaux d'expertise ont été définis. Ils correspondent respectivement aux scores ≤ 4 , $= 5$ et $= 6$. Plus le niveau d'expertise en résolution de problèmes simples est élevé et plus la résolution des problèmes complexes est réussie.

Il est possible d'interpréter ces résultats en termes de mobilisation des connaissances arithmétiques des élèves. En effet, la résolution de problèmes arithmétiques complexes met en œuvre des processus cognitifs qui interviennent quel que soit le type de texte. Elles concernent l'activation des concepts, l'élaboration de propositions ou encore la production d'inférences passerelles ou macropropositionnelles. Cependant, dans le cas précis des problèmes, elle met en jeu également, de façon spécifique, des connaissances arithmétiques qui sont appelées les schémas de problèmes (Riley et al., 1983, Kintsch et Greeno, 1985). Les résultats obtenus confirment l'importance de telles connaissances pour comprendre et résoudre des problèmes arithmétiques complexes.

Les différences, globalement significatives, des performances en résolution de problèmes arithmétiques complexes selon le niveau d'expertise en résolution

de problèmes arithmétiques simples montrent que le fait d'avoir acquis des connaissances arithmétiques relativement aux problèmes simples de type Changement et Combinaison favorise, facilite la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes et leur résolution.

L'acquisition des schémas TRANSFERT et PARTIES-TOUT qui sont respectivement associés aux problèmes simples de type Changement et Combinaison est déterminante pour construire une représentation adéquate des énoncés de problèmes arithmétiques complexes. Elles serviraient de structures de contrôle dans un traitement top-down (Kintsch, 1978).

Les différences sont significatives globalement mais également lorsque les modalités de la variable indépendante sont prises deux à deux. Ce résultat suggère plus précisément que la qualité des connaissances arithmétiques concernées est essentielle. Le fait d'avoir acquis des connaissances arithmétiques pouvant satisfaire toutes les situations rencontrées (score = 6) permet de résoudre les problèmes complexes avec un taux de réussite approchant les 75%. Ce taux chute à 52.5% pour les élèves ayant un niveau d'expertise intermédiaire (score = 5) et tombent à 21.05% pour les scores ≤ 4 . Ces résultats confirment d'une part, l'existence de différents niveaux d'acquisition des schémas de connaissances arithmétiques (Riley et al. 1983) et d'autre part la pertinence des problèmes simples considérés lors de la première phase de cette recherche. Ils permettent de déterminer relativement précisément la qualité des connaissances arithmétiques acquises par les élèves relativement aux problèmes simples.

Le Schéma PARTIES-TOUT fournit 4 hypothèses arithmétiques puisqu'il existe 3 parties (cocotiers, manguiers et bananiers, par exemple, pour le problème complexe sous l'habillage « Arbres »). Ces hypothèses arithmétiques se distinguent par le statut des différents ensembles créés : PPPW, PPWP, PWPP et WPPP. La première hypothèse arithmétique citée est précisément

PPPW[statut[SET1, PARTIE], statut[SET2, PARTIE], statut[SET3, PARTIE], statut [SET4, TOUT]].

Le schéma TRANSFERT fournit 6 hypothèses arithmétiques. Elles se distinguent par le statut des différents ensembles créés : STR, SRT, RTS, RST, TRS et TSR. La première hypothèse arithmétique associée à ce schéma TRANSFERT est précisément **STR[statut[SET1, STARTSET], statut[SET2, TRANSFERTSET], statut[SET3, RESULTSET]].**

Dans un traitement ascendant, plusieurs hypothèses arithmétiques sont activées. Le processus de compréhension procède par cycles répétés de phases de Construction-Intégration au cours desquelles certains liens propositionnels vont être renforcés tandis que d'autres vont être inhibés. Les hypothèses arithmétiques pour lesquelles les liens sont théoriquement renforcés au cours de la construction des représentations sont : PPPW et STR. Les autres hypothèses arithmétiques seront inhibées.

Il est important de signaler que le fait de posséder des connaissances arithmétiques complètes relativement aux problèmes de type Combinaison et Changement n'empêche pas l'échec à la résolution des problèmes complexes puisque 25% de ces élèves échouent (tableau XVIII, chapitre 6). Cela permet d'affirmer que le processus de compréhension d'un énoncé de problème complexe aboutit à la construction d'une représentation singulière qui combine de façon complexe les différents blocs de connaissances. Ce n'est pas simplement une juxtaposition des schémas de problèmes simples activés puis particularisés. L'intérêt de notre travail réside, entre autres, dans l'étude de l'articulation des connaissances arithmétiques qui se base sur les caractéristiques des schémas, en particulier la caractéristique d'imbrication (Le Ny,1999 ; Rumelhart et Norman,1985 ; Richard 1990).

9.4.2. Habillage sémantique, connaissances arithmétiques et compréhension

Le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples ou encore la qualité des connaissances arithmétiques détermine, pour une part, la performance en résolution des problèmes complexes.

Certains résultats obtenus globalement se retrouvent pour chacun des habillages sémantiques. Globalement, pour chacun des habillages, la qualité des connaissances arithmétiques est déterminante.

De façon plus précise, quel que soit l'habillage, les niveaux d'expertise correspondant aux scores ≤ 4 et $= 6$ fournissent des taux de réussite aux problèmes complexes significativement différents. En effet, dans les trois situations, « Arbres », « Livres » et « Voitures », les élèves ayant le niveau d'expertise le moins élevé en résolution de problèmes arithmétiques simples échouent majoritairement. Ces taux d'échec sont respectivement 75%, 86.36% et 73.68%. De même, dans les trois situations, les élèves ayant le niveau d'expertise le plus élevé en résolution de problèmes arithmétiques simples réussissent majoritairement. Ces taux sont respectivement 82.22%, 64.10% et 76.74%. Ainsi, au-delà des structures de surface, les connaissances conceptuelles sont essentielles. Trop partielles, elles ne permettent pas de résoudre les problèmes arithmétiques complexes correctement. Ces résultats mettent en avant l'importance des connaissances arithmétiques. Comme l'affirmaient Riley et al. (1983) puis Kintsch (1987, 1988) des connaissances arithmétiques incomplètes conduisent à l'échec. Cet élément est d'autant important qu'il se retrouve dans les trois versions brutes. Elles sont donc essentielles dans notre étude mais également dans les études davantage axées sur l'isomorphisme conceptuel. Cet élément est confirmé dans notre étude.

Si la distinction entre les niveaux ≤ 4 et $= 6$ offrent des résultats identiques lors de la résolution des problèmes complexes, les autres distinctions suggèrent

que les structures de surface influencent positivement ou négativement la résolution des problèmes complexes.

Le problème complexe sous l'habillage « Arbres » fournit le meilleur taux de réussite (66.66%) et la distinction entre les élèves ayant un niveau d'expertise intermédiaire et ceux ayant le meilleur niveau d'expertise n'est pas significative. Les élèves de niveau d'expertise intermédiaire résolvent, eux aussi, majoritairement le problème correctement (64.70%). Ainsi, même un niveau d'expertise intermédiaire permet de construire une représentation sémantique adéquate de l'énoncé. Des connaissances conceptuelles relativement aux problèmes simples, bien que partielles, suffisent à élaborer une représentation satisfaisante de l'énoncé.

La résolution du problème arithmétique complexe « Voitures » fournit globalement un taux de réussite de 59.45%. L'impact des différents niveaux d'expertise n'est pas le même que pour le problème « Arbres ». En effet, pour le problème « Voitures », la distinction entre les niveaux d'expertise correspondant aux scores = 5 et = à 6 aux problèmes simples fournissent des résultats significativement différents lors de la résolution du problème complexe. Seulement la moitié des élèves du niveau intermédiaire (50%) résout correctement le problème brut « Voitures » contre 76.74% pour les élèves experts. Un niveau d'expertise intermédiaire n'est pas suffisant pour permettre majoritairement l'élaboration d'une représentation adéquate de cet énoncé.

Comment interpréter le fait qu'un niveau d'expertise intermédiaire est suffisant à résoudre majoritairement le problème « Arbres » correctement alors que ce même niveau d'expertise intermédiaire en résolution de problèmes simples se révèle être insuffisant à la résolution correcte du problème « Voitures » ?

Les élèves ayant un niveau d'expertise = 6 mettraient plus spontanément en œuvre, un processus de traitement dirigé par les concepts. Ce traitement serait

moins coûteux cognitivement puisque des blocs de connaissances sont directement activés. Les élèves ayant un niveau d'expertise intermédiaire mettraient en oeuvre, quant à eux, un processus de traitement davantage dirigé par les données. Ce traitement ascendant est plus coûteux cognitivement car il sollicite davantage la mémoire de travail. En effet, au lieu d'activer un nombre limité de blocs de connaissances, il est nécessaire d'activer simultanément un grand nombre de propositions relativement peu organisées entre elles. Or, si nous tenons compte du nombre de propositions à extraire, du nombre d'inférences à produire qui sont plus élevés dans le problème « Voitures », alors le taux d'échec plus important, pour ce problème, des élèves de niveau d'expertise intermédiaire s'expliquerait. La théorie des schémas et le traitement top-down qui lui est associé (Chanquoy et al., 2007) permettent d'expliquer les résultats obtenus.

Cette interprétation nécessitera d'être confirmée par des investigations complémentaires. Il s'agirait de constituer deux groupes de sujets qui seraient équivalents du point de vue du niveau d'expertise en résolution de problèmes simples (= 5). Ces deux groupes se distingueraient, en revanche, par leur niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs : les sujets de l'un des deux groupes auraient un niveau d'expertise élevé en compréhension de textes (≥ 7) et l'autre un niveau intermédiaire (= 6). Une différence significative des performances lors de la résolution du problème complexe « Voitures » irait dans le sens d'une charge cognitive plus importante pour les sujets du groupe 2.

Le problème arithmétique complexe sous l'habillage « Livres » est celui qui fournit le plus faible taux de réussite (44.44%). Sous cet habillage, Les résultats obtenus se rapprochent de ceux obtenus sous l'habillage « Voitures ». Les modalités ≤ 4 et = 5 de la variable indépendante ne fournissent pas de résultats significativement différents lors de la résolution du problème complexe. Pour ces deux modalités, les élèves échouent majoritairement au

problème complexe « Livres ». Des connaissances arithmétiques très partielles ou partielles ne suffisent pas à résoudre correctement ce problème. La mise en œuvre d'un processus ascendant serait très coûteux cognitivement.

Les modalités = 5 et = 6 de la variable indépendante fournissent des résultats différents lors de la résolution du problème complexe. Ainsi, bien que plus difficile globalement que les deux autres problèmes complexes, un niveau d'expertise élevé en résolution de problèmes simples permet majoritairement de résoudre correctement ce problème complexe (64.10%). Ce résultat permet, une fois encore, d'insister sur l'importance des connaissances conceptuelles relativement aux problèmes simples. Cependant, il pose en même temps la question de l'accès aux connaissances conceptuelles puisque globalement ce taux est bien inférieur aux deux autres taux pour les élèves experts en résolution de problèmes simples (Arbres : 82.22%, Livres : 64.10% et Voitures : 76.74%). Ce sont les propositions extraites de l'énoncé qui permettent d'accéder aux connaissances arithmétiques. Pour le problème complexe brut « Livres », les propositions associant les concepts ALBUM, ROMAN, BANDE-DESSINEE et LIVRE servent d'indices pour activer l'hypothèse arithmétique **PPPW**. Or, de telles propositions ne sont pas directement présentes dans la traduction propositionnelle de l'énoncé. Elles doivent être inférées. De plus, la question proposée aux élèves est neutre. Cela implique donc que seules ces connaissances conceptuelles hiérarchiques vont servir d'indices à l'activation de l'hypothèse **PPPW**. Ce dernier élément met en avant l'importance du processus de catégorisation ensembliste dans la mise en œuvre du processus général de la compréhension de tels énoncés de problèmes arithmétiques. L'activation de l'hypothèse arithmétique adéquate (PPPW) semblerait dépendre des connaissances sémantiques des sujets et de leurs capacités à lier hiérarchiquement ces 4 concepts. Il est important de produire les inférences telles que ISA[ROMAN, LIVRE], ISA[ALBUM, LIVRE] et ISA[BANDE-DESSINEE, LIVRE] pour mettre en œuvre l'hypothèse PPPW.

De même, les propositions P4 : COMPTER [P5], P5 : 156 [ROMAN], P10 : EMPRUNTER [ENFANT, P11] et P11 : 3 2 [ROMAN] doivent s'organiser à travers la mise en œuvre de l'hypothèse arithmétique **STR**. Si le concept EMPRUNTER et sa structure prédicative n'appartiennent pas au lexique mental des élèves, il sera donc difficile d'inférer qu'il y a moins de romans maintenant dans la bibliothèque et donc d'activer l'hypothèse arithmétique **STR** et finalement de résoudre correctement ce problème complexe.

9.5. Catégorisation et processus de compréhension

9.5.1. Importance du principe d'équivalence

Il semblerait que le processus de catégorisation soit un élément essentiel du processus d'élaboration du réseau propositionnel. Dans la section précédente, certaines différences du point de vue des performances ont été interprétées en termes de plus ou moins grande facilité à mettre en relation dans des réseaux sémantiques hiérarchisées les différents concepts évoqués dans les énoncés.

L'importance du processus de catégorisation semble être confirmée par les procédures préférentiellement choisies par les élèves.

Dans le problème « Arbres », les concepts BANANIER, COCOTIER et MANGUIER appartiennent à la même classe surordonnée ARBRE. De même, dans le problème « Livres », les concepts ROMAN, BANDE-DESSINEE et ALBUM appartiennent à la même classe surordonnée LIVRE. Ainsi, dans ces deux problèmes, on se trouve à un niveau hiérarchique plus bas que les ensembles « Arbres » et « Livres ».

Pour ces deux problèmes arithmétiques complexes proposés dans la version brute, les élèves utilisent préférentiellement la procédure 2 (Proc 2) qui consiste à traiter d'abord les objets séparément pour ensuite les regrouper. Pour le problème « Arbres », 66% des élèves qui l'ont résolu correctement utilisent la procédure 2. Pour le problème « Livres », 64.51% des élèves utilisent cette même procédure. En revanche, 39% seulement des élèves ayant résolu correctement le problème « Voitures » utilisent la procédure 2. Nous le disions précédemment, les différences quant au choix préférentiellement fait par les élèves sont globalement significatives. Cette significativité concerne d'une part, les problèmes « Arbres » et « Voitures » et d'autre part, les problèmes « Livres » et « Voitures ». Il n'y a pas de différences significatives entre les problèmes « Arbres » et « Livres ».

Le processus de compréhension consiste globalement à entrelacer des informations provenant de deux sources d'informations distinctes. Ces entrelacements s'effectuent, entre autres, à travers la mise en œuvre du processus de production d'inférences. Différentes unités inférentielles sont concernées : les concepts, les propositions ou encore des ensembles de propositions. Ces différentes unités sont activées, sélectionnées, maintenues en mémoire de travail et intégrées à la représentation. Pour le problème « Arbres », les propositions associant les concepts BANANIER, MANGUIER COCOTIER, ARBRE et l'hypothèse arithmétique PPPW est l'exemple d'un ensemble propositionnel qu'il est possible d'activer, de sélectionner, de garder en mémoire et d'être intégré à la représentation. La sélection de ce schéma de problème serait stratégique et liée à la capacité des sujets à regrouper ensemble ces différents concepts dans une catégorie superordonnée. Cette sélection dépendrait donc, entre autres, du processus de catégorisation. En revanche, le maintien de ce bloc de connaissances en mémoire de travail dépendrait davantage de la capacité des élèves à considérer ces différents concepts comme équivalents. Si les élèves n'ont pas acquis l'équivalence ou la substituabilité entre concepts (Piaget, Inhelder, 1959), alors un conflit cognitif s'engagera lorsqu'il s'agira d'enlever une certaine quantité d'arbres. Les bananiers, les cocotiers et les manguiers sont tous des arbres, certes. Mais un manguiers ce n'est pas exactement la même chose qu'un cocotier. De même qu'un cocotier ce n'est pas la même chose qu'un bananier. Le bloc de connaissances attaché à la procédure 1 qui serait activé dans un premier temps, à la suite de la lecture de la première phrase, serait ensuite inhibé si l'équivalence n'est pas acquise au profit d'un autre schéma conceptuel.

De façon plus précise, un autre schéma de problèmes jusqu'alors peu activé, le serait davantage lors des cycles de traitement suivants. Dans notre cas, le schéma conceptuel concurrent est celui qui est relatif aux problèmes de type Changement. Dans le problème « Arbres », les propositions P1 : DANS

[FORÊT], P2 : 146 [COCOTIER], P3 : AVOIR [P2], P8 : ARRACHER [CYCLONE, P9], P9 : 24 [COCOTIER] s'organiseraient autour de l'hypothèse arithmétique **STR** qui précise d'une part, que les 146 cocotiers est l'ensemble de départ (**Start Set**) et d'autre part, que les 24 cocotiers arrachés est un ensemble dont le statut est celui de **Transfert (T)**. L'ensemble résultat (**Résult Set**) est le troisième ensemble dont les objets sont identiques aux deux premiers ensembles et dont la quantité est obtenue en effectuant une soustraction. Ce même schéma conceptuel est activé, gardé en mémoire de travail et intégré à la représentation pour traiter les propositions relatives aux deux autres objets : manguiers et bananiers. Cette interprétation met en avant l'importance du mode de catégorisation ensembliste dans le déroulement du processus de la compréhension des énoncés de problèmes complexes.

Lorsque les trois ensembles Résultats sont complets, même si l'équivalence n'est pas acquise chez les élèves, ces derniers sont capables d'activer à nouveau le schéma conceptuel relatif aux problèmes de type Combinaison et regrouper à nouveau les trois ensembles puisque les bananiers, les manguiers et les cocotiers restant sont tous des arbres.

Les élèves, pour qui l'équivalence est acquise, n'inhiberaient pas l'hypothèse arithmétique PPPW et maintiendraient ce schéma conceptuel en mémoire de travail et continueraient à regrouper les arbres qui sont arrachés. Dans un troisième temps, le schéma conceptuel associé aux problèmes de type Changement serait activé et gardé en mémoire de travail pour déterminer les arbres qui sont encore debout.

Le processus de compréhension met en jeu le processus de catégorisation formel (Piaget, Inhelder, 1959). Le traitement effectué à partir de l'énoncé « Livres » se rapprocherait du traitement effectué à partir de l'énoncé « Arbres » puisqu'il met en jeu différents objets qu'il est possible de regrouper dans une même catégorie surordonnée. Ces deux énoncés permettraient finalement de

vérifier la pondération des modes de catégorisation voire l'acquisition du principe d'équivalence par les élèves.

Ainsi, pour la majorité des élèves de CM1 à la Réunion, les données recueillies relativement à la procédure préférentiellement choisie montreraient une pondération des modes de catégorisation ensembliste et collective et confirment les résultats obtenus par Parmentier (2000).

Lors de la compréhension de l'énoncé « Voitures », l'équivalence entre objets n'interviendrait pas puisqu'il est question d'un seul objet. La non-intervention de l'équivalence semble être confirmée par le fait que les élèves utilisent préférentiellement la procédure 1. Le fait que les élèves ayant à résoudre le problème complexe « Voitures » utilisent naturellement cette procédure indique que globalement les élèves de CM1 connaissent également cette procédure.

Comment expliquer alors l'utilisation de la procédure 2 malgré la présence d'un seul objet pour certains élèves ? Le processus de compréhension aboutit à l'élaboration d'une représentation multidimensionnelle en mémoire de travail. Le niveau sémantique et le niveau situationnel en sont les deux principaux. Le niveau sémantique est plus ou moins cohérent et complet et le modèle de situation est plus ou moins adéquat et précis. Il est possible que pour ce troisième énoncé, le niveau situationnel soit plus prégnant chez certains élèves. Dans ce cas, il favoriserait la prise en compte des informations d'ordre spatial. Dans le cadre formel des mathématiques, la prégnance du modèle de situation compliquerait la résolution de certains problèmes arithmétiques. En revanche, dans un cadre moins formel comme la compréhension des textes narratifs, l'élaboration d'un modèle de situation est avantageuse car elle favoriserait la production d'inférences relatives aux motivations des protagonistes et à la situation générale dans laquelle s'insère le récit. Les résultats obtenus confirment d'une part, que la représentation est multidimensionnelle (Kintsch,

1983) et d'autre part, selon les textes et les sujets, ces différents niveaux seraient plus ou moins important (Kintsch, 1998).

Dans le cadre formel des mathématiques, le niveau sémantique serait privilégié par la mise en œuvre de schémas de problèmes. Malgré tout, pour certains lecteurs et dans des conditions qui restent à définir, le niveau situationnel serait privilégié puisque certaines propositions relatives aux contiguïtés spatiales sont renforcées. D'un point de vue méthodologique, la confirmation de la prégnance du niveau situationnelle exigerait l'utilisation d'une tâche de vérification de phrases (Perrig et Kintsch, 1985).

9.5.2. Illustration du niveau sémantique de la représentation

L'illustration est proposée en plusieurs étapes et elle concerne essentiellement le résultat du processus de compréhension de l'énoncé brut du problème arithmétique complexe « Arbres ».

9.5.2.1. Niveau sémantique à la fin de la première phrase

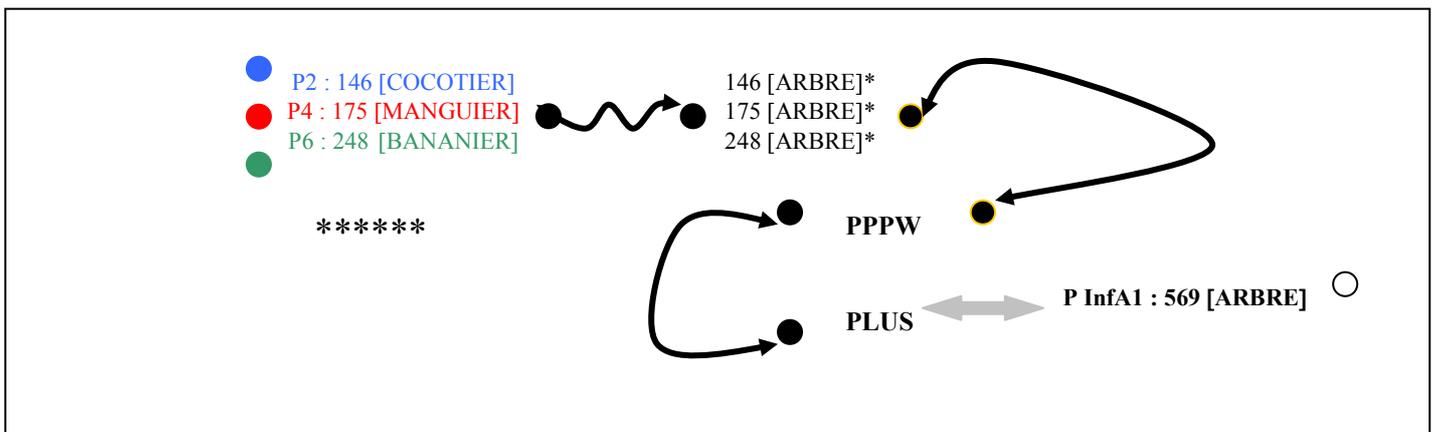


Illustration 1 : Niveau sémantique de la représentation à la fin de la première phrase.
P infA1 signifie qu'il s'agit de la première proposition arithmétique inférée.

La construction de la représentation commence dès le début de l'activité de lecture. Les principaux concepts sont activés à partir des mots perçus. Les propositions directement extraites de l'énoncé sont élaborées. Lors de la phase de construction, le processus de diffusion de l'activation active les nœuds les plus proches dans le réseau de connaissances du lecteur. Ainsi, d'autres concepts et d'autres propositions peuvent être inférées. Le concept [FORET] peut, par exemple, activer certaines essences d'arbres particulières liées aux connaissances du lecteur. D'autres propositions peuvent être inférées sur ce même principe. Ces dernières sont spécifiées par les astérisques.

Le concept [ARBRE] est important pour la cohérence du réseau sémantique en cours d'élaboration puisqu'il permet de faire le lien entre les concepts [MANGUIER] [COCOTIER] [BANANIER]. Cette inférence serait donc davantage de nature automatique. Elle permet d'élaborer les propositions 146 [ARBRE], 175 [ARBRE] et 248 [ARBRE] qui sont des propositions arithmétiques.

Dans le contexte de résolution de problèmes arithmétiques, un certain nombre d'hypothèses arithmétiques sont activées au cours de la phase de construction. D'un point de vue théorique, l'hypothèse arithmétique PPPW serait davantage activée que ses concurrentes (WPPP, PWPP...). Elle serait maintenue en mémoire de travail. Les autres hypothèses seraient inhibées. Finalement, PPPW permet de déterminer le nombre d'arbres de la forêt (**P InfA1 : 569 [ARBRE]**).

Ce qui vient d'être décrit concerne davantage les bons lecteurs et les élèves experts en résolution de problèmes simples. Pour les autres élèves, plusieurs hypothèses arithmétiques sont gardées en mémoire de travail. Cela a pour conséquence de consommer davantage de ressources cognitives.

9.5.2.2. Niveau sémantique à la fin de la deuxième phrase

9.5.2.2.1. Mode de catégorisation collective privilégié

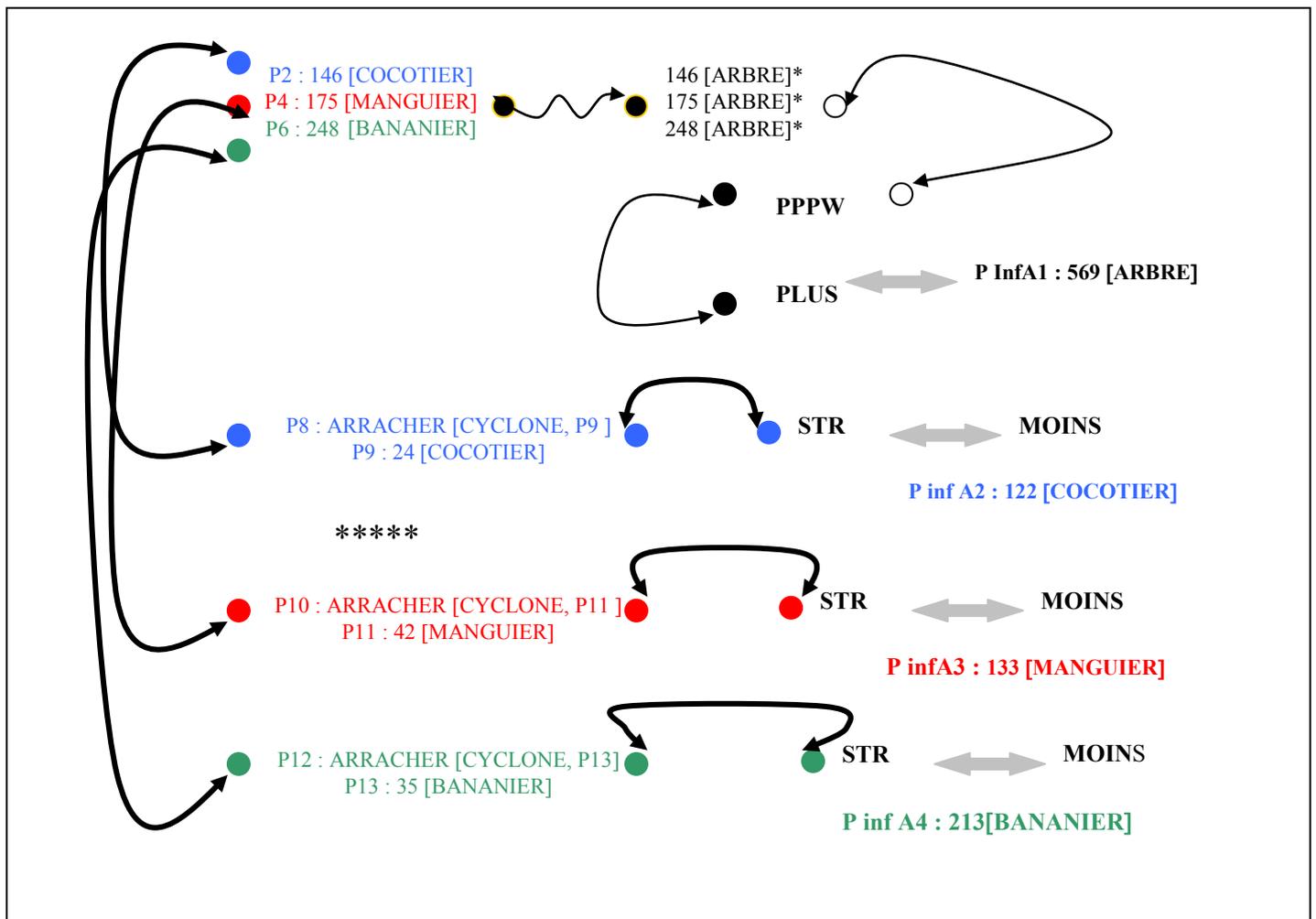


Illustration 2 : Niveau sémantique de la représentation à la fin de la lecture de la deuxième phrase dans le cas où le principe d'équivalence n'est pas acquis. P inf A2, P inf A3 et P inf A4 sont les nouvelles propositions arithmétiques inférées.

Le processus de compréhension continue. Lorsque la deuxième phrase est traitée, les concepts [MANGUIER], [COCOTIER] et [BANANIER] sont à nouveau activés. De nouvelles propositions sont élaborées à partir des entrées linguistiques de l'énoncé. C'est le cas des propositions P8, P9, P10, P11, P12 et P13. La recherche de la cohérence aboutit à création de liaisons entre les propositions dernièrement citées et P2, P4 et P6 puisqu'elles partagent des arguments communs. De nouvelles propositions sont inférées. Ces inférences

optionnelles sont relatives, par exemples, à l'existence d'un vent violent, la destruction de bâtiments, la mort d'animaux... Dans le contexte de résolution de problèmes, ces propositions inférées lors de la phase de construction seront inhibées lors de la phase d'intégration. Une fois de plus, ces propositions sont désignées par les astérisques. Le nombre de propositions inférées est arbitraire, mais reste limité car la mémoire de travail a une capacité limitée.

La nouvelle activation des concepts [MANGUIER], [COCOTIER] et [BANANIER] et le fait que le principe d'équivalence entre les concepts sous-ordonnés ne soit pas acquis et/ou que le mode de catégorisation collective soit privilégié font que l'hypothèse arithmétique initialement activée PPPW est inhibée (cercles blancs dans l'illustration et flèches plus fines). Pour être plus précis, la force de liaison entre PPPW et les propositions déjà construites est plus faible.

En revanche, L'hypothèse arithmétique STR liée aux problèmes simples de type Changement est activée trois fois. L'activation stratégique de ce schéma permet de déterminer les manguiers, bananiers et cocotiers encore debout (P inf A2 : 122 [COCOTIER], P inf A3 : 133 [MANGUIER] et P inf A4 : 213[BANANIER]).

9.5.2.2.2. Principe d'équivalence acquis et mode de catégorisation ensembliste privilégié

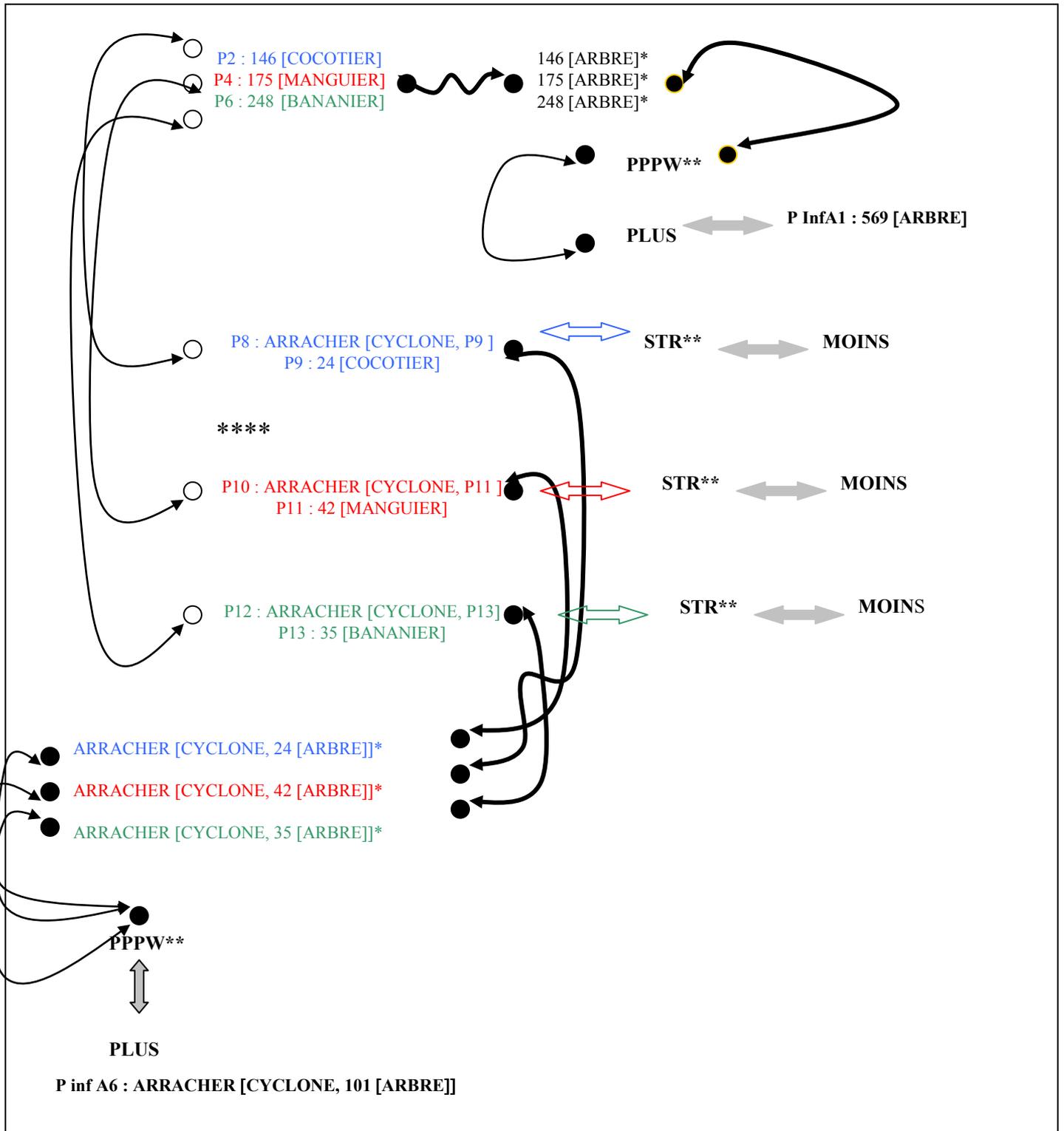


Illustration 3 : Niveau sémantique de la représentation à la fin de la deuxième phrase dans le cas où l'équivalence est acquise. P inf A6 est la sixième proposition arithmétique inférée.

Lorsque le principe d'équivalence est acquis et le mode de catégorisation ensembliste est privilégié les élèves considèrent les concepts sous-ordonnés comme étant substituables les uns aux autres. Il est donc possible de soustraire des cocotiers à un ensemble d'arbres, des manguiers à un ensemble d'arbres et des bananiers à un ensemble d'arbres. En effet, les manguiers arrachés sont aussi des arbres, les cocotiers arrachés sont des arbres et les bananiers sont également des arbres.

Les propositions ARRACHER [CYCLONE, 24 [ARBRE]], ARRACHER [CYCLONE, 42 [ARBRE]], ARRACHER [CYCLONE, 35 [ARBRE]] seraient inférées de façon stratégique. Elles favoriseraient l'activation de l'hypothèse arithmétique PPPW qui permettrait de déterminer le nombre d'arbres arrachés (P inf A6 : ARRACHER [CYCLONE, 101 [ARBRE]]).

9.5.2.3. Niveau sémantique de la représentation lors de la lecture de la question

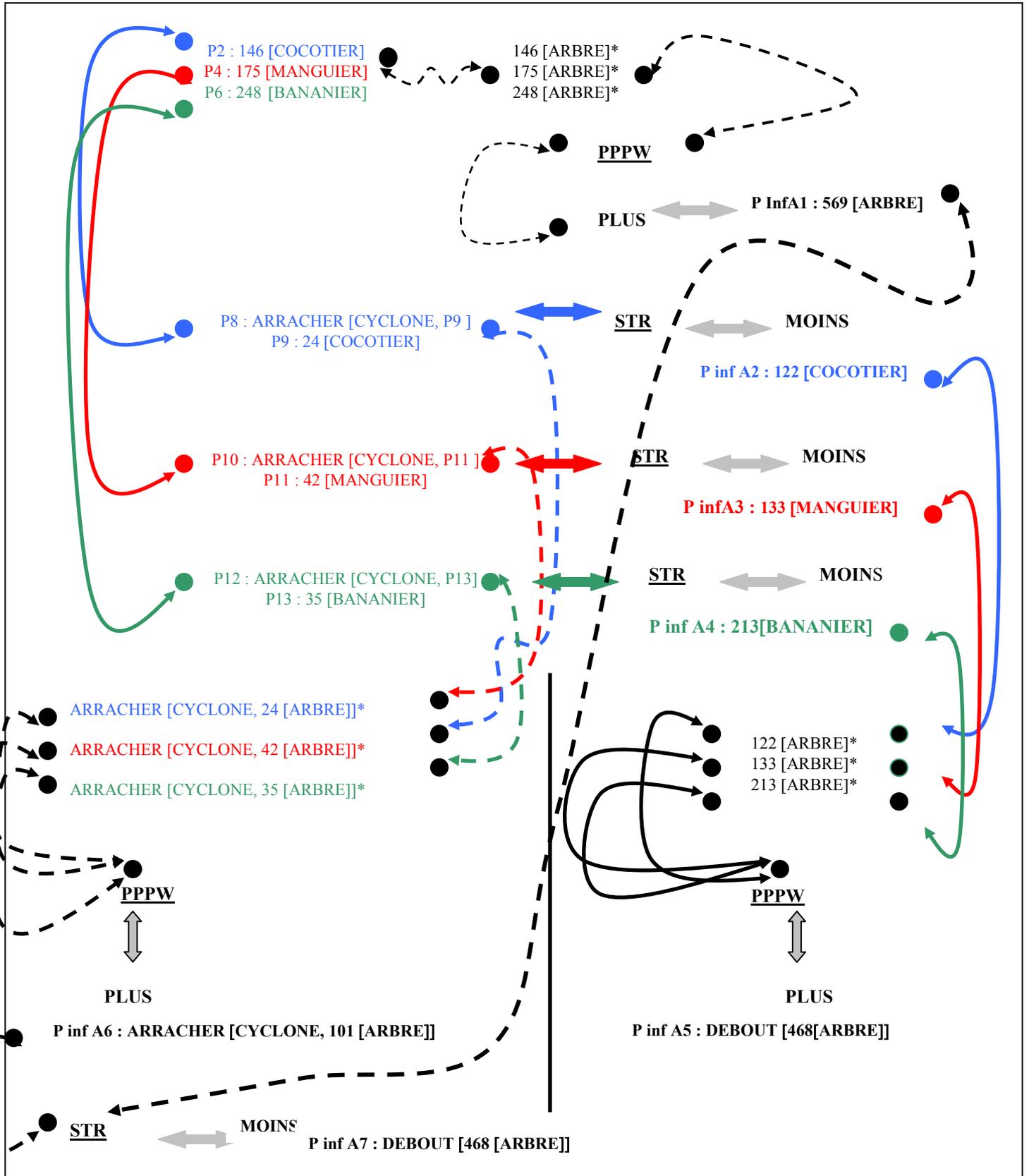


Illustration 4 : Niveau sémantique de la représentation après la lecture complète de l'énoncé.

Lorsque la question est abordée, deux cas de figure se présentent. Les élèves, pour qui le niveau sémantique de la représentation se rapproche du réseau en pointillés, finissent par activer une dernière fois l'hypothèse arithmétique STR. Elle est maintenue en mémoire de travail pour répondre à la question (P inf A7 : DEBOUT [468 [ARBRE]]).

Les élèves, pour qui le niveau sémantique de la représentation se rapproche du réseau avec les flèches pleines, mettraient en œuvre une nouvelle fois le processus inférentielle pour activer finalement l'hypothèse arithmétique PPPW. Cette hypothèse arithmétique est maintenue en mémoire de travail pour déterminer le nombre d'arbres restés debout (P inf A5 : DEBOUT [468[ARBRE]]).

Les réseaux proposés sont relativement séparés. Cependant, certaines liaisons ne sont pas représentées. Il est probable que les réseaux finalement construits soient plus denses que ceux présentés.

9.6. Aides à la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes

9.6.1. Impact limité des versions aidées

Neuf problèmes complexes ont été proposés aux 227 élèves de CM1. Pour chacun des habillages, trois versions ont été imaginées : une version brute, une version aidée 1 et une version aidée 2. Brièvement, la version brute ne comporte qu'une seule question et la version aidée 1 en comporte trois. Cette dernière favorise l'utilisation de la procédure 1 qui consiste, dans un premier temps, à regrouper les objets. Enfin, la version aidée 2 comporte quatre questions et favorise l'utilisation de la procédure 2 qui consiste à traiter les objets séparément.

Nous nous attendions à recueillir de meilleures performances lors de la résolution des problèmes proposés dans les versions aidées. Or, les résultats obtenus dans les sections 5.4.1 et 5.4.2 montrent globalement que ce sont les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent aux trois versions.

Cela signifie donc que globalement les élèves ayant résolu correctement le problème proposé dans la version brute font preuve d'une certaine flexibilité cognitive dans le sens où la résolution des trois problèmes exige au moins deux organisations conceptuelles distinctes et donc deux procédures générales distinctes. En revanche, les élèves qui ont échoué aux problèmes bruts continuent globalement à échouer aux problèmes proposés dans les versions aidées. Cela signifie donc que le fait de proposer des questions facilitant d'une part l'activation des connaissances et d'autre part leur organisation a un impact relativement limité.

Comment expliquer la portée relativement limitée des questions proposées aux élèves ? Plusieurs éléments peuvent être avancés.

Le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples d'une part, et le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs d'autre

part, sont des éléments qui déterminent la réussite ou l'échec à la résolution des problèmes arithmétiques complexes proposés dans une version brute. Ces mêmes éléments peuvent expliquer l'impact peu important des questions posées puisque dans ces deux versions aidées, il s'agit toujours de problèmes arithmétiques complexes. Si les connaissances arithmétiques des élèves sont insuffisantes, alors les questions proposées ne seraient d'aucune utilité puisqu'elles concernent précisément ces connaissances conceptuelles relatives à la résolution des problèmes arithmétiques simples. De même, si les processus d'activation de concepts, d'élaboration de propositions directement à partir des entrées linguistiques, de mise en relation des différentes propositions par vérification de la cohérence, de production d'inférences passerelles ne sont pas mis en oeuvre, alors les questions proposées ne seraient guère utiles également.

L'impact relativement limité des questions posées est confirmé malgré des réponses correctes aux différentes questions. En effet, l'analyse des données relatives à la résolution des problèmes complexes proposés dans la version 2 montre qu'un nombre important d'élèves répondent correctement aux trois questions précédant la question finale : 183 pour la première question, 187 pour la deuxième et 186 pour la troisième (tableau LXVIII, chapitre 5). Ces résultats correspondent à des taux de 80.61%, 82.37% et 81.93%. Pourtant ces taux chutent puisque seulement 152 réussissent à résoudre correctement les problèmes proposés dans la version aidée 2. Tenant compte des 8 sujets résolvant ces problèmes en utilisant la procédure 1, 144 élèves arrivent à mettre en relation les 4 questions proposées dans la version aidée 2 (63.43%). Le processus de compréhension commence dès que l'activité de lecture débute. Ce processus de compréhension aboutit à l'élaboration d'une représentation multi-niveaux : surface, sémantique et situationnel. Kintsch et Greeno (1985) affirmaient une certaine superposition de la microstructure et de la macrostructure du niveau sémantique de la représentation lors de la mise en oeuvre du processus de compréhension des énoncés de problèmes simples. Dans

notre situation, les résultats obtenus confirment, l'idée déjà suggérée, que pour les problèmes complexes, le niveau sémantique se compose, lui-aussi, d'une microstructure et d'une macrostructure. Pour certains élèves, la construction de la macrostructure ne s'effectuerait pas correctement. Ils n'arriveraient pas à comprendre l'énoncé dans sa globalité. Une compréhension partielle et parcellaire de l'énoncé permettrait de répondre aux questions proposées préalablement mais pas à la question finale.

Cette interprétation serait valable également pour la version aidée 1 puisqu'ils sont 148 (65.19%) à répondre correctement aux deux premières questions proposées et ce nombre chute à 112 (49.33%) en tenant compte des sujets qui choisissent d'utiliser la procédure 2. Ainsi, seulement 112 sujets mettent en relation les 3 questions proposées dans la version aidée 1. Une compréhension partielle et parcellaire des énoncés suffirait à répondre aux deux questions précédant la question finale.

Enfin, l'impact limité des versions aidées pourrait s'expliquer par le fait que l'élaboration de la représentation du contenu de l'énoncé est largement entamée lorsque les questions sont lues et qu'il serait difficile de modifier cette première représentation. D'un point de vue méthodologique, il serait intéressant de proposer ces mêmes questions mais en les plaçant avant les énoncés. Fayol et Habdi (1986) puis Devidal, Fayol et Barrouillet (1997) ont montré que pour certains problèmes arithmétiques le fait de placer les questions au début pouvait améliorer les performances des sujets. Ces formulations favoriseraient l'activation très tôt des schémas conceptuels (les schémas de problèmes) adéquats. Les propositions extraites de l'énoncé s'organiseraient directement autour de ces schémas. La mémoire de travail serait donc moins sollicitée dans le sens où elle manipulerait uniquement les blocs d'informations adéquats. Au contraire, lorsque les questions sont placées classiquement à la fin, lors du processus de construction, la mémoire de travail serait très sollicitée puisqu'un nombre important d'hypothèses arithmétiques seraient activées. Ce n'est qu'à la

phase d'intégration que certaines de ces hypothèses arithmétiques seraient inhibées.

9.6.2. Impact différent des versions aidées

9.6.2.1. Importance du choix des questions posées

Les données recueillies montrent que les questions proposées dans la version aidée 1 n'ont pas le même impact que celles proposées dans la version aidée 2. En effet, contrairement à la version aidée 2 dans laquelle les trois questions fournissent des taux de réponses correctes équivalents (80.61%, 82.37% et 81.93%), les questions censées aider les élèves dans la version aidée 1 ne fournissent pas les mêmes taux de réussite : 84.58% pour la première question (192 élèves sur 227) et 66.96% pour la deuxième question (152 sur 227). Le processus de catégorisation jouerait un rôle déterminant. Répondre correctement à la question 2 fait intervenir le processus de catégorisation et particulièrement le principe d'équivalence entre les objets. Répondre correctement à cette question exige que les objets ou les concepts évoqués soient considérés comme équivalents. Les concepts ou objets sont substituables les uns aux autres. Les élèves ayant l'équivalence répondraient relativement facilement à cette deuxième question. Pour les autres sujets en revanche, répondre correctement à cette deuxième question exigerait que soit dépassé le conflit cognitif engendré par la non-équivalence des objets ou des concepts. Une nouvelle fois, l'importance du processus de catégorisation est à noter lors de la mise en œuvre du processus général de la compréhension des énoncés de problèmes.

9.6.2.2. Impact globalement positif de la version aidée 2

Nous le disions précédemment, il existe une bonne relation entre les versions puisque globalement ce sont les mêmes élèves qui échouent et qui réussissent. Pourtant, les sujets ont été sensibles aux questions proposées. Ils ont

été plus nombreux à répondre correctement aux questions de la version aidée 2 qu'à celles de la version aidée 1. D'ailleurs, les performances des sujets sont significativement meilleures lors de la résolution des problèmes proposés dans cette version.

Globalement les différences entre les versions brut et aidée 1 ne sont pas significatives. En revanche, elles sont globalement significatives entre d'une part, les versions brut et aidée 2 et d'autre part, entre les versions aidée1 et aidée2. Nous le disions, ces résultats vont dans le sens d'une amélioration des performances lors de la version aidée 2.

Les élèves avaient le choix entre trois procédures pour résoudre les problèmes complexes : la procédure 1, la procédure 2 et la procédure mixte qui est resté très minoritaire.

Lorsque les élèves ont eu à résoudre les problèmes proposés dans la version aidée 1, plusieurs cas de figures se sont présentés : les élèves ayant résolu correctement le problème brut en utilisant la procédure 1, les élèves ayant résolu correctement la problème brut en utilisant la procédure 2 et enfin les élèves qui avaient échoué.

Les élèves ayant utilisé la procédure 1 dans la version brute ont continué à utiliser la procédure 1 dans la version aidée1. Pour la majorité de ces élèves, cette procédure ne pose pas de difficulté particulière car le principe d'équivalence est acquis. Ils continuent donc à réussir. Il est à noter, malgré tout, que l'automatisation de cette dernière chez certains élèves pourrait expliquer leur échec lors de la version aidée 1. Imposer un contrôle sur un processus déjà automatisé peut être source d'erreurs. La lecture de l'énoncé déclencherait très tôt le schéma conceptuel adapté. Des erreurs d'anticipation de la procédure 1 seraient commises. Ces élèves font partie des 32 sujets ayant résolu correctement le problème brut mais ayant échoué à la version aidée 1. Les résultats obtenus par dans notre étude confirment l'idée que vouloir exercer un

contrôle sur un processus déjà automatisé peut engendrer des troubles cognitifs (Schneider et Schiffrin, 1977, Well-Barais, 1993).

Certains élèves ont résolu correctement le problème proposé dans la version brute, mais n'avaient pas acquis le principe d'équivalence. Ils ont résolu le problème brut en utilisant la procédure 2. Ils ont décidé d'utiliser, à nouveau la procédure 2. Pour certains élèves, cette procédure les a conduits au succès. Ils étaient 15 dans ce cas.

Il est possible de proposer une autre explication : certains élèves possédaient déjà un schéma conceptuel adapté à la situation. Ce schéma conceptuel est attaché à la procédure 2. La lecture de l'énoncé déclencherait très tôt l'activation du schéma de problèmes adéquat. Le traitement top-down rendrait ainsi difficile la flexibilité cognitive attendue chez certains sujets. Cela pourrait expliquer, par ailleurs, les erreurs d'anticipation de la procédure 2 commises par certains sujets lors de la résolution des problèmes proposés dans la version aidée 1.

D'autres élèves avaient acquis le principe d'équivalence, mais ne possédaient pas la procédure 1. Le fait de proposer les questions leur a permis de résoudre correctement le problème. Ils font partie des 29 sujets ayant échoué à la version brute et ayant résolu le problème arithmétique complexe proposé dans la version aidée 1 avec succès.

Il est possible enfin que d'autres élèves encore, malgré l'acquisition du principe d'équivalence n'ont pu résoudre les problèmes, même avec l'aide des questions, car ils n'aient pas compris l'énoncé dans sa globalité. Globalement, le fait de proposer la version aidée 1 n'améliore pas les résultats des élèves.

Lorsque les élèves ont résolu les problèmes proposés dans la version aidée 2, là encore, plusieurs cas de figures se sont présentés. Ce sont les mêmes que précédemment : ceux qui avaient résolu le problème brut correctement avec la

procédure 1, ceux qui avaient résolu correctement le problème brut avec la procédure 2 et enfin ceux qui avaient échoué.

Les élèves qui avaient utilisé la procédure 2 ont continué à utiliser la procédure 2 et ont résolu correctement le problème proposé dans la version 2.

Certains élèves ont utilisé la procédure 1 même si les questions les incitaient à utiliser la procédure 2. Les questions proposées sont moins contraignantes. Pourtant, ils utilisent la procédure 1. Pour ces élèves, la lecture de l'énoncé activerait très tôt un schéma conceptuel adapté à la situation, mais qui serait attaché à la procédure 1. Le traitement top-down effectué rendrait la flexibilité cognitive difficile chez certains de ces sujets.

D'autres élèves ayant réussi la version brute échouent à la version aidée 2. Le détail des procédures utilisées n'indique pas vraiment d'erreurs d'anticipation puisque plus de la moitié d'entre eux répondent correctement aux trois questions précédant la question finale. La difficulté intervient lors de la question finale. Cela signifie donc que des sujets, bien que possédant un schéma conceptuel adapté à la situation, ne perçoivent pas les similitudes entre les différents problèmes. Les sujets seraient sensibles aux éléments de surface.

La résolution réussie de cette version ne nécessite pas l'acquisition du principe d'équivalence. Proposer les questions indiquant la procédure à mettre en œuvre permet à beaucoup plus de sujets de résoudre le problème correctement puisqu'ils sont nombreux à ne pas avoir acquis ce principe. Le fait de proposer des questions favoriserait la construction d'une représentation adaptée à la situation.

De plus, beaucoup moins d'élèves échouent à la version 2 alors qu'ils avaient réussi à la version brute. Finalement, les différences de performances entre les versions brute et aidée 2 d'une part, et aidée 1 et aidée 2 d'autre part sont significatives.

D'un point de vue pédagogique, pour les élèves de CM1, l'apprentissage de la version aidée 2 serait davantage profitable que l'apprentissage de la version

aidée 1. Il serait intéressant de mener une étude longitudinale pour vérifier l'acquisition effective des schémas conceptuels, après apprentissage, en proposant dans un post-test, à nouveau, des problèmes arithmétiques complexes bruts.

Conclusions et perspectives

L'objectif de ce travail était l'étude du processus général de la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes combinant des problèmes simples de types Changement et Combinaison.

Le processus de compréhension est conçu comme une mise en relation de différents éléments provenant de deux sources distinctes d'information. Les éléments contenus dans les énoncés d'une part, et les connaissances du lecteur d'autre part, doivent interagir pour aboutir à une représentation multidimensionnelle : surface, sémantique et situationnel (Kintsch, 1983, 1988).

Le modèle de Construction-Intégration de Kintsch (1988) s'applique aux énoncés de problèmes arithmétiques complexes et l'élaboration de la représentation s'effectue par une succession de cycles de Construction-Intégration et exige la mise en œuvre de processus automatiques et/ou contrôlés. La nature des processus mis en jeu dépend du niveau d'expertise des sujets pour accomplir la tâche demandée. Le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs d'une part, et le niveau d'expertise en résolution de problèmes arithmétiques simples d'autre part, sont deux facteurs déterminant une

compréhension satisfaisante des énoncés de problèmes arithmétiques complexes quel que soit l’habillage. Les deux premières hypothèses opérationnelles proposées dans notre étude sont validées globalement.

Comprendre un texte narratif et comprendre un énoncé de problème arithmétique nécessite la mise en œuvre d’un certain nombre de processus communs comme l’activation des concepts, l’élaboration de propositions directement extraites des énoncés ou la construction d’un réseau sémantique cohérent.

L’élaboration de ce réseau sémantique exige, selon les textes, la mise en œuvre du processus de production d’inférences nécessaires qui permettent d’une part, de combler les trous sémantiques et d’autre part, de réduire l’information en reliant l’information micropropositionnelle à des informations macropropositionnelles.

Les problèmes complexes utilisés ont permis de mettre en évidence l’implication de ces deux types de processus de production d’inférences, mais aussi corollairement, les niveaux microstructural et macrostructural du niveau sémantique de la représentation. Le taux de réponses correctes des élèves aux questions associées à la construction d’unités sémantiques partielles et la chute de celle-ci à la question associée à la construction d’une unité plus globale confirme la mise en évidence de ces deux niveaux. Ces éléments sont nouveaux par rapport aux travaux développés par Kintsch et Greeno (1985) et Kintsch (1983, 1988) et Kintsch et Lewis (1993).

Le processus d’activation ne concerne pas seulement les concepts ou les propositions isolés. Il s’applique également à des blocs de connaissances. Ce sont ces connaissances à mobiliser qui différencient la compréhension des différents types de textes. Certaines connaissances sont spécifiques à la compréhension de textes narratifs et d’autres spécifiques à la compréhension des énoncés de problèmes. La compréhension des énoncés de problèmes complexes

et leur résolution nécessitent l'activation et le maintien en mémoire de travail de schémas de problèmes simples associés aux problèmes de types Changement et Combinaison. L'activation des schémas de problèmes et la sélection des connaissances arithmétiques appropriées sont formalisées par Kintsch (1988) et Kintsch et Lewis (1993) dans un modèle connexionniste basé sur le renforcement ou l'affaiblissement de liaisons en propositions.

Notre étude met en évidence, de façon précise, l'implication du processus de catégorisation lors de la mise en œuvre de processus de compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes. Cette question a été abordée effectivement par Kintsch (1978) de façon générale avec en particulier le règle de généralisation (macro-règle). En revanche, l'implication de l'acquisition du principe d'équivalence (Piaget, Inhelder, 1959) dans le choix final de la procédure est, quant à elle, nouvelle. Cela a été possible grâce à l'étude des problèmes arithmétiques complexes.

Les niveaux sémantique et situationnel sont confirmés dans notre étude puisque certains élèves sont sensibles aux informations spatiales et choisissent la procédure 2 pour résoudre le problème arithmétique « Voitures » dans lequel il n'est question que de voitures. Dans le contexte mathématique, le niveau sémantique de la représentation semble être privilégié, mais autorise malgré tout la prégnance du niveau situationnel chez certains élèves. La plus ou moins grande importance de ce dernier niveau de la représentation pourrait être confirmé d'un point de vue méthodologique par la vérification de phrases et non pas par une tâche de rappel (Perrig et Kintsch, 1985).

D'un point de vue psychopédagogique, il est essentiel de veiller à la qualité des problèmes simples proposés aux élèves pour leur permettre d'acquérir des schémas de problèmes complets. Proposer des problèmes de différents types: Combinaison, Changement ou encore Comparaison est de première importance. Pour chacun de ces types de problème, il est tout aussi

important de faire varier la place de l'inconnu comme pour les problèmes proposés lors de la phase 1. Pour les problèmes de type Changement, l'inconnu doit concerner l'ensemble de départ, l'ensemble transfert et l'ensemble résultat. Pour les problèmes de type Combinaison, l'inconnu doit concerner les parties et le tout. Varier les situations proposées facilite l'acquisition des schémas de problèmes complets et favorise par conséquent la résolution réussie des problèmes complexes.

L'aide aux élèves par le questionnement est un outil connu des enseignants. Les problèmes proposés dans notre étude autorisent au moins deux types de questionnement et ils n'ont pas le même impact. Le questionnement orienté vers l'utilisation de la procédure 2 à savoir le traitement des objets séparément est plus approprié. C'est la seule version fournissant de meilleurs résultats par rapport aux problèmes bruts de façon significative. Ce type de questionnement est à privilégier chez les élèves de CM1. Cet élément pédagogique est nouveau. Notre troisième hypothèse opérationnelle est partiellement validée.

Du point de vue des perspectives, certains résultats obtenus méritent des investigations supplémentaires. Nous le disions pour les niveaux de la représentation. Elles concernent aussi les connaissances des sujets et en particulier les organisations conceptuelles hiérarchiques liant d'une part, les concepts MANGUIER, COCOTIER, BANANIER et ARBRE et d'autre part, les concepts ROMAN, ALBUM, BANDE-DESINNEE et LIVRE. Nous nous interrogeons, d'un point de vue psychologique, sur le coût cognitif de ces réseaux sémantiques hiérarchisés. Il est tout à fait possible de proposer un protocole expérimental dans lequel les temps de réaction des sujets seraient mesurés. Au cours de ce protocole, il serait demandé aux sujets de proposer un mot générique regroupant les trois concepts proposés : MANGUIER,

COCOTIER, BANANIER d'une part, et ROMAN, ALBUM, BANDE-DESINNEE d'autre part.

Ensuite, les énoncés bruts « Livres » et « Voitures » n'ont pas les mêmes caractéristiques puisque le dernier énoncé mentionné est constitué de 23 propositions et en même temps, c'est celui qui contient le nombre le plus important de « trous sémantiques ». Pour l'énoncé « Livres », la distinction entre les niveaux d'expertise = 6 et ≥ 7 en compréhension de textes narratifs ne fournissent pas de différences significatives. En revanche, ces différences sont significatives pour l'énoncé « Voitures ». Sont-elles dues au nombre plus important de propositions ou au nombre plus important de « trous sémantiques » ? D'un point de vue méthodologique, 4 groupes de sujets devront être constitués croisant les différents niveaux d'expertise en compréhension de textes narratifs (= 6 et ≥ 7) et les niveaux d'expertise = 5 et = 6 en résolution de problèmes arithmétiques simples. Il s'agirait dans le même temps de construire deux versions de l'énoncé brut « Voitures » avec d'une part le maximum de « trous sémantiques » et d'autre part sans « trous sémantiques ».

De plus, d'un point de vue théorique, le processus de compréhension aboutit à la fin de la lecture de la première phrase à une représentation organisée autour d'un schéma PARTIE-TOUT associé à l'hypothèse arithmétique PPPW. Le processus de compréhension continue avec l'inhibition de ce schéma de problème au profit du schéma TRANSFERT associé à l'hypothèse arithmétique STR. Il serait intéressant de confirmer ce résultat. Il est possible, en effet, d'envisager un protocole dans lequel, l'énoncé du problème serait proposé aux élèves phrase par phrase. Dans ce protocole, il serait demandé aux élèves, à partir des informations disponibles, au fur et à mesure, de proposer un calcul permettant de trouver une nouvelle information.

D'autres investigations pourraient être menées. En effet, l'impact relativement limité des questions a été montré. Cet impact serait-il le même si les questions étaient proposées au début de l'énoncé ? (Fayol, Abdi, 1986)

Pour continuer, les élèves de CM1 utilisent majoritairement la procédure 2 pour résoudre les problèmes complexes dans lesquels il est question de 3 concepts qu'il est possible de regrouper dans une catégorie surordonnée. Le processus de catégorisation et en particulier la non-équivalence des concepts ont été les principales raisons avancées. Il est connu, en effet, que ce principe d'équivalence n'est pas stabilisé à cet âge (Piaget, Inhelder, 1959). Il serait donc intéressant de proposer ces mêmes problèmes arithmétiques à des élèves dont on sait le principe d'équivalence acquis. Quel choix feraient-ils préférentiellement ?

Enfin, notre questionnement initial n'était ni la catégorisation ni l'apprentissage de schémas complexes de problèmes arithmétiques. Avec les éléments dont nous disposons, il est possible d'aborder la catégorisation sous un nouvel angle à travers l'étude de la résolution de problèmes complexes. D'autre part, une étude longitudinale concernant l'acquisition des schémas complexes ne serait pas sans intérêt.

Bibliographie

ALBA J. W. et HASHER L. (1983), *Is memory schematic ?*, Psychological Bulletin, 93, 203-231.

ANDERSON J.-R. (1976), *Language, Memory and Thought*, Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum.

BADDELEY A. (1993), *La mémoire humaine : théorie et pratique*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.

BARTLETT F.-C. (1932), *Remembering*, Cambridge, Cambridge University Press.

BASTIEN C. (1997), *Les connaissances de l'enfant à l'adulte : organisation et mise en œuvre*, Paris, Colin.

BIANCO M., LIMA L. et SYLVESTRE E. (2004), *Comment enseigner les stratégies de compréhension en lecture ?* in E. Gentaz., P. Dessus., *Comprendre les apprentissages : Sciences cognitives et Education*, Paris, Dunod.

BIDEAUD J. et HOUDE O. (1998), *Le développement des catégorisations : « capture » logique ou « capture » écologique des propriétés des objets ?*, L'année Psychologique, 87-123.

BIDEAUD J., HOUDE O. et PEDINIELLI J.-L. (1993), *L'homme en développement*, Paris, Presses Universitaires de France.

BIDEAUD J., LEHALLE H. et VILETTE B. (2004), *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*, Villeneuve d'Ascq, Presse Universitaire du Septentrion.

BLANC N. et BROUILLET D. (2003), *Mémoire et compréhension*, Clamecy, In Press.

BLANC N. et BROUILLET D. (2005), *Comprendre un texte : L'évaluation des processus cognitifs*, Paris, Editions In Press.

BONTHOUX F., BERGER C. et BLAYE A. (2004), *Naissance et développement des concepts chez l'enfant : catégoriser pour mieux comprendre*, Paris, Dunod.

BOWER G.-H., BLACK J.-B. et TURNER T.-J. (1972), *Scripts in Memory for Texts*, *Cognitive Psychology*, 3, 193-209.

BRANDSFORD J.-D., BARCLAY J.-R. et FRANKS J.-J. (1972), *Sentence memory : A constructive versus interpretative approach*, *Cognitive Psychology*, 193-209.

BRISSIAUD R. (2002), *Psychologie et didactique : choisir des problèmes qui favorisent la conceptualisation des opérations arithmétiques*, in J. BIDEAUD., H. LEHALLE., *Le développement des activités numériques chez l'enfant*, Paris, Hermes.

BRISSIAUD R. et ESCARBAJAL M.-C. (1986), *Formulation des énoncés : classique vs récit*, *Revue Française de Pédagogie*, 47-52.

CADET B. (1996), *Méthodes statistiques en psychologie*, Caen, Presses Universitaires de Caen.

CAMPION N. et ROSSI J.-P. (1999), *Inférences et compréhension de textes*, *L'Année Psychologique*, 493-527.

CARON J. (2008, 2^{ème} édition), *Précis de psycholinguistique*, Paris, Presses Universitaires de France.

CAUZINILLE-MARMECHE E. et DIDIERJEAN A. (1999), *Résolution de problèmes par analogie et généralisation des connaissances*, in G. Netchine-Grynberg (éd.), *Développement et fonctionnements cognitifs : Vers une intégration*, Paris, Presses Universitaires de France.

CHANQUOY L. (2005), *Statistiques appliquées à la psychologie et aux sciences humaines et sociales*, Paris, Hachette supérieur.

CHANQUOY L., TRICOT A. et SWELLER J. (2007), *La charge cognitive : Théorie et applications*, Paris, Armand Colin.

CLEMENT E. (1996), *L'effet du contexte sémantique dans l'élaboration de la représentation du problème*, l'Année Psychologique, 96, 400-442.

CLEMENT E. (2009), *La résolution de problème : à la découverte de la flexibilité cognitive*, Paris, Armand Colin.

COLLINS A.-M et QUILLIAN M.-R. (1969), *Retrieval time from semantic memory*, Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 8, 240-247.

COLLINS A.-M. et QUILLIAN M.-R. (1972), *How to make a language user*, in E. Tulving., W. Donadson (Eds.), *Organization and memory*, New York, Academic Press.

COQUIN-VIENNOT D. (2001), *Problèmes arithmétiques verbaux à l'école : pourquoi les élèves ne répondent-ils pas à la question posée ?*, Enfance, Volume 53, 181-196.

CORDIER F. (1993), *Les représentations cognitives privilégiées*, Lille, Presses Universitaires de Lille.

COWAN N. (1988), *Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints within the human information-processing system*, Psychological Bulletin, 104 (2), 163-191.

DELLAROSA D., KINTSCH W., REUSSER K. et WEIMER R. (1988), *The Role of Understanding in Solving Word Problems*, Cognitive Psychology, 405-438.

DENIS M. (1989), *Image et cognition*, Paris, Presses Universitaires de France.

DEVIDAL M., FAYOL M. et BARROUILLET P. (1997), *Stratégies de lecture et résolution de problèmes arithmétiques*, L'Année Psychologique, 9-31.

ESCARABAJAL M.-C. (1986), *Utilisation de la notion de schéma comme représentation des connaissances dans un modèle de résolution de problèmes additifs*, in C. Bonnet., J.-M Hoc., G Tiberghien (Eds.), *Les apports de l'intelligence artificielle à la psychologie*, Bruxelles, Mardaga.

ESCARABAJAL M.-C. (1988), *Schémas d'interprétation et résolution de problèmes arithmétiques*, Revue Française de Pédagogie, 82, 15-21.

EHRlich M.-F. et DELAFOY M. (1990), *La mémoire de travail : Structure, fonctionnement, capacité*, L'Année Psychologique, 90, 403- 428.

FAYOL M. (1985), *Le récit et sa construction*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

FAYOL M. (1990), *L'enfant et le nombre*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

FAYOL M. (1992), *Comprendre ce qu'on lit : de l'automatisme au contrôle*, in M. Fayol., J.-E. Gombert., P. Lecocq., L. Sprenger-Charolles et D. Zagar., *Psychologie cognitive de la lecture*, Paris, Presses Universitaires de France.

FRANÇOIS J. (2002), *La catégorisation verbale : morphologie, syntaxe, sémantique*, in F. CORDIER., J. FRANÇOIS., *Catégorisation et langage*, Hermes.

GAMO S. (2001), *Résolution de problèmes*, Paris, Bordas.

GARDNER H. (1985), *The mind's new science : A history of the cognitive revolution*, New York, Basic Books Inc.

GINESTE M.-D. et LE NY J.-F. (2002), *Psychologie cognitive du langage*, Paris, Dunod.

GODEFROID J. (2001), *Psychologie : Science humaine et science cognitive*, Bruxelles, De Boeck.

GOLDING J. et LONG D. (1993), *Superordinate goal inferences : are they automatically generated during comprehension ?* Discourse Processes, 55-73.

GUINDON R. et KINTSCH W. (1984), *Priming macropropositions : Evidence for the primacy of macropropositions in the memory for text*, Journal of verbal learning and verbal behavior, 508-518.

HAMON J.-F., LAVAUUR J.-M. et BISSON T. (1996), *Psychologie cognitive de la compréhension de textes*, Travaux & Documents, 65-107.

HAMON J.-F. et PARMENTIER M.-C. (2002), *Développement cognitif et catégoriel et culture*, Travaux et Documents, 47-58.

HOC J.-M. et NGUYEN-XUAN A. (1987), *Les modèles informatiques de la résolution de problèmes*, in J. Piaget., P. Mounoud., J.-P Bronckart (Eds.), Psychologie, Paris, Gallimard.

HOUDE O. (1992), *Catégorisation et développement cognitif*, Paris, Presses Universitaires de France.

HOWELL D. (2008, 6^{ème} édition), *Méthodes statistiques en sciences humaines*, Bruxelles, De Boeck.

INELDER B. et CELLERIER G. (1992), *Le cheminement des découvertes de l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

JOHNSON-LAIRD P. N. (1994), *L'ordinateur et l'esprit*, Paris, Editions Odile Jacob.

KINTSCH W. (1974), *The representation of Meaning in Memory*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.

KINTSCH W. (1998), *Comprehension : a paradigme for cognition*, Cambridge, Cambridge University Press.

KINTSCH W., WELSH D., SCHMALHOFER F. et ZIMNY S. (1990), *Sentence Memory : A Theoretical Analysis*, 133-159.

KINTSCH W. (1988), *The Role of Knowledge in Discourse Comprehension : A Construction-Integration Model*, *Psychological Review*, 163-182.

KINTSCH W. (1987), *Understanding word problems : Linguistic factors in problem solving*, *Language and Artificial Intelligence*, 197-208.

KINTSCH W. et KEENAN J. (1973), *Reading rate and retention as function of the number of propositions in the base structure of sentences*, *Cognitive Psychology*, 5, 257-274.

KINTSCH W. et VANDI JK T.-A. (1983), *Strategies of discourse comprehension*, Orlando, Academic Press.

KINTSCH W. et VANDI JK T.-A. (1978), *Toward a model of text comprehension and production*, *Psychological Review*, 85, 363-394.

LAUNAY M. (2004), *Psychologie cognitive*, Paris, Hachette.

LAUTREY J. (1999), *Esquisse d'un modèle pluraliste de développement cognitif*, in M. REUHLIN., J. LAUTREY., C. MARENDAZ., T. OHLMANN., *Cognition : l'individuel et l'universel*, 185-216, Presses Universitaires de France.

LEMAIRE P. (1999), *Psychologie Cognitive*, Bruxelles, De Boeck.

LE NY J.-F. (2005), *Comment l'esprit produit du sens*, Paris, Odile Jacob.

LORCH R.-F., LORCH E.-P. et MATHEWS P.-D. (1985), *On-line processing of the topic structure of a texte*, *Journal of Memory and Language*, 24, 350-362.

MARIN B. et LEGROS D. (2008), *Psycholinguistique cognitive*, Paris, De Boeck.

MATLIN M. (2001), *La cognition : Une introduction à la psychologie cognitive*, De Boeck, Paris.

MORAVCSIK J.-E et KINTSCH W. (1993), *Writing quality, reading skills and domain knowledge as factors in text comprehension*, *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47, 360-374.

NELSON K. (1985), *Le développement de la représentation sémantique chez l'enfant*, *Psychologie française*, 261-268.

NELSON K. (1988), *Where do taxonomic categories come from ?*, *Human Development*, 3-10.

PARMENTIER M.-C. (2000), *Logique des classes, logiques des collections : existence de deux formes de cognition et leur rapport dans une approche interculturelle*, Thèse de doctorat, Université de la Réunion.

PARMENTIER M.-C. et HAMON J.-F. (2005), *Contribution à l'étude interculturelle du développement des catégorisations*, *Kabaro*, 83-108.

PERRIG W. et KINTSCH W. (1985), *Propositional and representational of text*, *Journal of Memory and Language*, 503-518.

PIAGET J. et INHELDER B. (1959), *La genèse des structures logiques élémentaires*, Lausanne, Delachaux et Niestlé.

RATCLIFF R. et MC KOON G. (1978), *Priming in item recognition : Evidence for the propositional structures of sentences*, Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 17, 403-418.

REED S.-K. (1999), *Cognition : théories et applications*, Paris, De Boeck, (traduction : Blicharski T., Casenave-Tapie P).

REUSSER K. (1990), *From text to situation to equation : Cognitive simulation, Learning and instruction*, 477- 498.

RICHARD J.-F. (1990), *Les activités mentales : Comprendre, raisonner, trouver des solutions*, Paris, Armand Colin.

RICHARD J.-F. (2004, 4^{ème} édition), *Les activités mentales : De l'interprétation de l'information à l'action*, Paris, Armand Colin.

RICHARD J.-F. (2003), *Cours de psychologie : Processus et applications*, Paris, Dunod.

RICHARD J.-F. (1982), *Mémoire et résolution de problèmes*, Revue Française de Pédagogie, n° 60, 9-17.

RICHARD J.-F. (1986), *Traitement de l'énoncé et résolution de problèmes*, Bulletin de Psychologie, tome XXXIX, 341-344.

RICHARD J.-F. (1994), *La résolution de problème*, in M. Richelle., J. Requin., M. Robert (Eds.), *Traité de psychologie expérimentale*, Presses Universitaires de France.

RILEY M.-S., GREENO J.-G. et HELLER J.-I. (1983), *Development of children's problem solving ability in arithmetic*, in H.P. Ginburg, *The development of mathematical thinking*, New York, Academic Press.

RIPOLL T. (2006), *Raisonnement et résolution de problèmes*, in J.-L Roulin, *Psychologie cognitive*, Paris, Bréal.

ROSCH E. (1973), *Natural categories*, Cognitive Psychologie, 328-350.

ROSSI J.-P. (2005), *Psychologie de la mémoire : De la mémoire épisodique à la mémoire sémantique*, Bruxelles, De Boeck.

ROSSI J.-P. (2008), *Psychologie de la compréhension du langage*, Bruxelles, De Boeck.

SCHACTER D.-L. (1987a), *Implicit memory : History and current status*, Journal of experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition, 13, 501-518.

SCHACTER D.-L. (1999), *A la recherche de la mémoire : le passé, l'esprit et le cerveau*, De Boeck, Paris.

SCHANK R.-C, *Dynamic Memory, a Theory of reminding and learning in computers and people*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.

SCHANK R.-C et ABELSON R. (1977), *Scripts Plans Goals and Understanding : An inquiry into Human Knowledge Structures*, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.

SCHEUNER N. et BONTHOUX F. (2004), *La construction des catégories surordonnées chez l'enfant : utilisation différentielle des indices perceptifs et contextuels selon le domaine*, Bulletin de psychologie, 57, 105- 109.

SHIFFRIN R.-M et SCHNEIDER W. (1977), *Controlled and automatic human information processing : Perceptual learning, automatic attending, and a general theory*, Psychological Review, 84, 127-190.

STAUB F. et REUSSER K. (1995), *The role of presentational structures in understanding and solving mathematical word problems*. In C. A. Weaver, S. Mannes (Eds.), *Discours comprehension : Essays in honor of Walter Kintsch*, Lawrence Erlbaum, New Jersey.

TROADEC B. (1999), *Le développement de la pensée chez l'enfant : catégorisation et cultures*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail.

TULVING E. (1972), *Episodic and semantic memory*. In E. Tulving., W. Donaldson (Eds.), *Organisation of Memory*, New York, Academic Press.

VAN DIJK T.-A. et KI NTSCH W. (1983), *Strategies of discourse comprehension*, New York, Academic Press.

VERGNAUD G. (1982), *A classification of cognitive task and operations of thought involved in addition and subtraction problems*, in T.-P Carpenter, J.-M Moser & T.-A Romberg (Eds), *Addition and subtraction : A cognitive perspective*, Lawrence Erlbaum, New Jersey.

VYGOTSKI L. (1985a), *Pensée et langage*, Paris, Messidor Editions Sociales.

WEIL-BARAIS A. (1993), *L'homme cognitif*, Presses Universitaires de France, Paris.

ZAGAR D., FAYOL M. et DEVIDAL M. (1990), *Etude comparée de la lecture de problèmes et de récits par des enfants de 10 ans*, In B. Schneuwly (Ed), *Diversifier l'enseignement du Français écrit*, Delâchaux et Niestlé.

Annexes

Annexe I

Résultats des 239 élèves à l'épreuve de résolution de problèmes arithmétiques simples et à l'épreuve de compréhension du texte narratif

Élèuess	prob 1	Prob 3	Prob 5	Prob 2	Prob 4	Prob 6	Total math	Micro structure	Macro structure	Total compréhension
el1RM	1	1	1	1	1	1	6	5	0	5
el2RM	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el3RM	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el4RM	0	1	0	1	1	0	3	5	1	6
el5RM	0	1	1	1	1	1	5	5	1	6
el6RM	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el7RM	1	1	1	1	1	0	5	5	0	5
el8RM	1	1	0	0	1	1	4	5	1	6
el9RM	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el10RM	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el11RM	1	1	0	1	0	1	4	3	0	3
el12RM	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el13RM	1	1	0	1	1	0	4	5	1	6
el14RM	1	1	0	1	0	1	4	6	0	6
el15RM	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el16RM	0	1	1	1	1	1	5	6	1	7
el17RM	1	1	1	1	0	1	5	5	0	5
el18RM	0	1	1	1	1	1	5	6	0	6
el19RM	1	1	1	1	1	0	5	6	1	7
el20RM	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el21RM	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el22RM	1	1	0	1	0	0	3	1	0	1
el23RM	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el24RM	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el25RM	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el26RM	1	1	0	1	1	0	4	6	1	7
el1PC	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el2PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el3PC	1	1	0	1	1	1	5	6	1	7
el4PC	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el5PC	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el6PC	1	1	0	1	1	1	5	6	1	7
el7PC	1	0	0	1	1	0	3	7	1	8
el8PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8

el9PC	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el10PC	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el11PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el12PC	1	0	0	0	1	0	2	4	0	4
el13PC	1	1	0	0	1	0	3	7	0	7
el14PC	1	1	0	1	0	1	4	2	0	2
el15PC	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el16PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el17PC	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el18PC	0	1	1	1	1	1	5	6	0	6
el19PC	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el20PC	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el21PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el22PC	1	1	1	1	1	0	5	7	0	7
el23PC	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el24PC	1	1	1	1	1	0	5	6	0	6
el25PC	1	1	0	0	1	1	4	3	0	3
el1B1	1	0	1	0	1	1	4	7	1	8
el2B1	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el3B1	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el4B1	0	1	1	1	1	1	5	5	0	5
el5B1	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el6B1	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el7B1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el8B1	1	1	1	1	0	1	5	6	0	6
el9B1	0	1	0	1	0	0	2	6	0	6
el10B1	1	1	1	1	1	1	6	3	0	3
el11B1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el12B1	1	1	1	1	1	1	6	5	0	5
el13B1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el14B1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el15B1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el16B1	1	1	1	0	1	1	5	7	1	8
el17B1	1	0	0	1	1	0	3	5	1	6
el18B1	1	1	0	1	0	1	4	6	1	7
el19B1	0	0	0	1	0	1	2	7	1	8
el20B1	1	1	1	0	0	1	4	6	1	7
el21B1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el22B1	1	1	0	0	1	0	3	5	1	6
el23B1	0	0	0	0	0	0	0	7	0	7
el24B1	0	0	1	1	1	1	4	6	1	7
el25B1	1	0	0	1	1	1	4	7	1	8

el26B1	1	1	0	1	1	0	4	1	0	1
el27B1	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el1B2	1	1	1	1	1	0	5	5	0	5
el2B2	1	1	0	1	0	1	4	3	1	4
el3B2	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el4B2	1	1	1	1	1	0	5	3	0	3
el5B2	1	1	1	1	1	0	5	6	0	6
el6B2	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el7B2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el8B2	1	1	1	1	1	1	6	5	0	5
el9B2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el10B2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el11B2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el12B2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el13B2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el14B2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el1GB1	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el2GB1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el3GB1	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el4GB1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el5GB1	1	1	1	1	0	1	5	2	1	3
el6GB1	1	0	1	1	0	1	4	5	0	5
el7GB1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el8GB1	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el9GB1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el10GB1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el1GB2	1	1	1	1	1	1	6	4	1	5
el2GB2	1	0	0	1	1	1	4	6	1	7
el3GB2	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el4GB2	1	1	0	1	1	1	5	5	1	6
el5GB2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el6GB2	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el7GB2	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el8GB2	1	1	1	1	1	1	6	3	0	3
el9GB2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
el10GB2	1	0	0	0	0	1	2	2	1	3
el11GB2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el12GB2	1	0	0	1	1	1	4	5	0	5
el13GB2	1	1	0	0	0	0	2	6	0	6
el14GB2	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el15GB2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
el16GB2	1	0	0	1	1	0	3	4	0	4

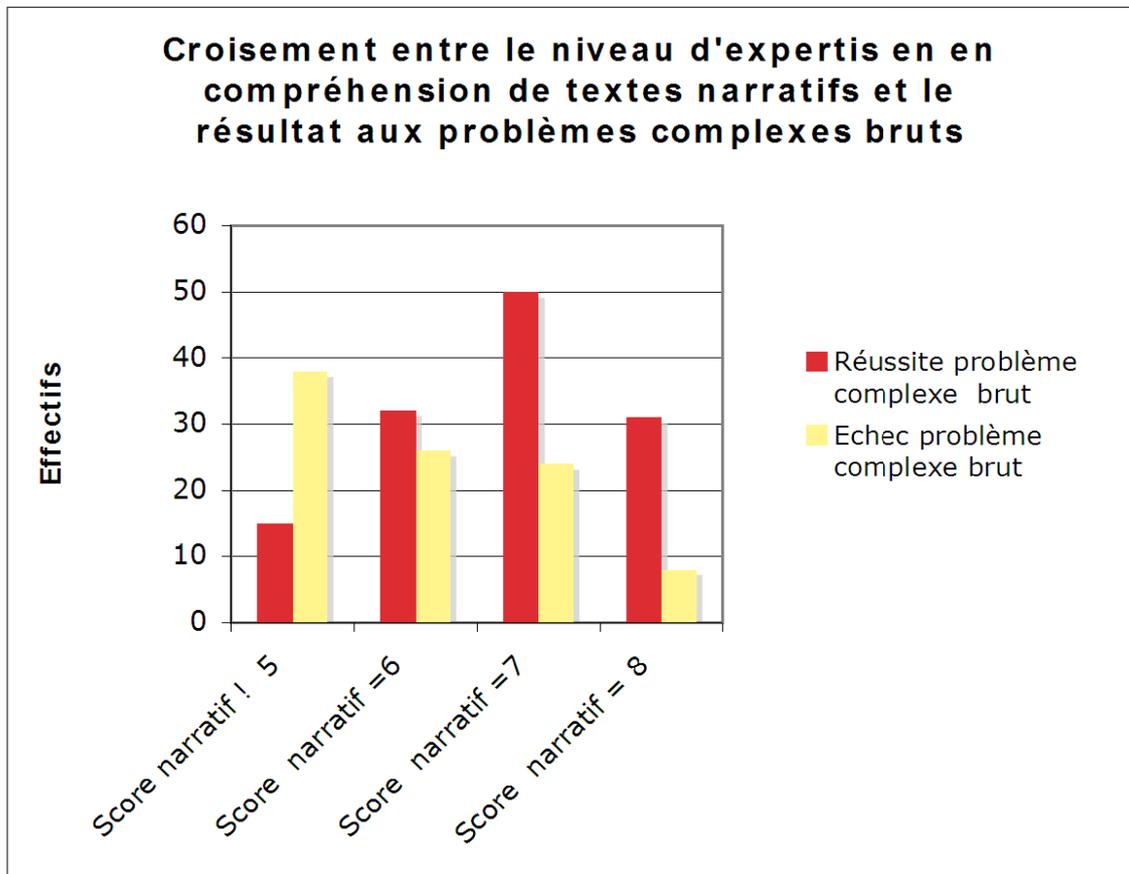
el17GB2	0	0	1	0	0	1	2	5	1	6
el18GB2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el19GB2	1	1	1	0	1	1	5	6	0	6
el20GB2	1	1	0	1	1	0	4	7	1	8
el21GB2	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el22GB2	1	0	0	1	0	1	3	2	0	2
el23GB2	1	1	1	1	1	1	6	3	0	3
el24GB2	1	0	0	1	1	1	4	2	1	3
el25GB2	0	1	0	0	1	0	2	3	0	3
el1GB3	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el2GB3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el3GB3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
el4GB3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el5GB3	1	1	0	1	0	1	4	4	0	4
el6GB3	0	1	0	0	1	0	2	5	0	5
el7GB3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el8GB3	1	1	1	1	1	1	6	3	1	4
el9GB3	1	0	0	0	0	1	2	4	1	5
el10GB3	0	1	1	1	1	1	5	5	0	5
el11GB3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el12GB3	1	1	0	1	0	0	3	1	0	1
el13GB3	0	1	1	1	1	1	5	5	0	5
el14GB3	1	1	1	1	0	1	5	5	0	5
el15GB3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el16GB3	1	1	1	0	0	1	4	6	0	6
el17GB3	1	1	1	0	0	1	4	3	0	3
el18GB3	1	1	0	0	1	1	4	5	1	6
el19GB3	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el20GB3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el21GB3	0	0	0	0	1	0	1	6	1	7
el22GB3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el23GB3	1	1	1	0	0	0	3	1	0	1
el24GB3	1	1	1	1	1	1	6	3	0	3
el1A1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el2A1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
el3A1	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el4A1	0	1	1	1	1	1	5	5	1	6
el5A1	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el6A1	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el7A1	1	1	0	1	1	1	5	0	0	0
el8A1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el9A1	1	1	0	1	1	1	5	5	0	5

el1AI2	0	1	1	1	1	1	5	6	1	7
el2AI2	0	1	1	1	1	1	5	7	1	8
el3AI2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el4AI2	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el5AI2	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el6AI2	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el1AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el2AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el3AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el4AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el5AI3	1	1	0	1	1	0	4	5	1	6
el6AI3	1	1	0	1	1	0	4	6	1	7
el7AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el8AI3	1	0	1	0	0	0	2	1	0	1
el9AI3	0	1	1	1	1	1	5	4	0	4
el10AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	0	7
el11AI3	1	1	1	1	1	1	6	5	0	5
el12AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el13AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el14AI3	1	1	1	0	1	0	4	2	1	3
el15AI3	0	1	0	0	1	1	3	6	0	6
el16AI3	1	1	0	1	1	1	5	6	0	6
el17AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el18AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el19AI3	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el20AI3	1	1	0	0	1	0	3	5	1	6
el21AI3	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el22AI3	1	1	0	0	1	1	4	6	1	7
el23AI3	1	1	0	1	0	0	3	3	0	3
el1AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el2AI4	1	1	0	1	0	1	4	7	1	8
el3AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el4AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el5AI4	1	1	1	1	0	1	5	5	0	5
el6AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el7AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el8AI4	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el9AI4	1	1	1	1	0	0	4	3	0	3
el10AI4	1	0	0	1	1	1	4	1	1	2
el11AI4	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el12AI4	1	1	0	1	1	1	5	7	1	8
el13AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7

el14AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el15AI4	1	1	0	1	1	1	5	5	0	5
el16AI4	1	1	1	1	1	0	5	6	0	6
el17AI4	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el18AI4	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el19AI4	1	1	1	1	1	1	6	4	1	5
el20AI4	1	1	1	1	1	1	6	3	1	4
el21AI4	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el22AI4	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el23AI4	1	1	1	1	0	1	5	6	0	6
el1J1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el2J	0	1	1	1	1	1	5	6	1	7
el3J	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el4J	1	0	1	1	1	1	5	6	1	7
el5J	0	1	1	1	1	1	5	6	0	6
el6J	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el7J	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el8J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el9J	1	1	1	1	0	1	5	3	1	4
el10J	1	1	0	1	1	1	5	6	1	7
el11J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el12J	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el13J	0	1	0	0	1	1	3	6	0	6
el14J	1	1	1	1	1	1	6	5	1	6
el15J	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el16J	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el17J	0	1	1	1	1	1	5	6	1	7
el18J	1	1	1	1	1	1	6	6	0	6
el19J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el20J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el21J	0	1	1	1	1	1	5	7	1	8
el22J	1	1	1	1	1	1	6	4	1	5
el23J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el24J	1	0	1	0	1	1	4	7	0	7
el25J	1	1	1	1	1	1	6	6	1	7
el26J	1	1	1	1	1	1	6	7	1	8
el27J	0	1	0	0	0	1	2	6	0	6

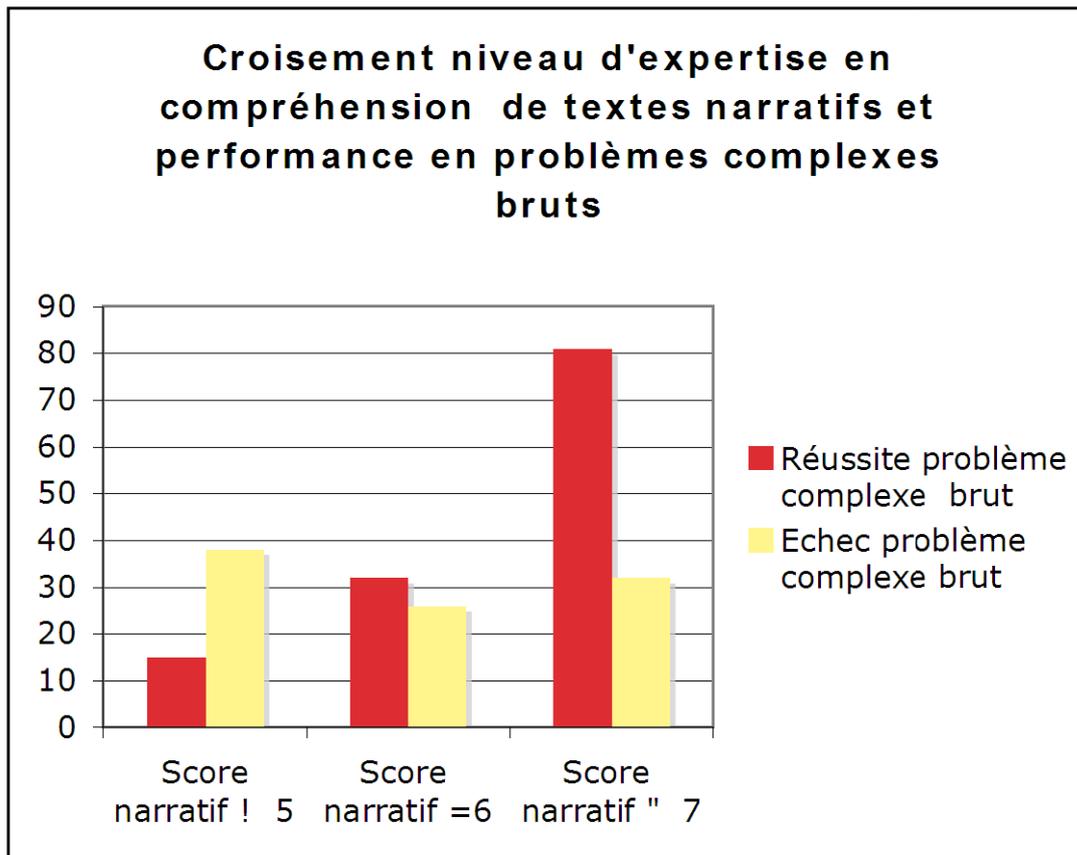
Annexe II

Graphique 1 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$, $= 7$ et $= 8$) et le résultat aux problèmes complexes bruts



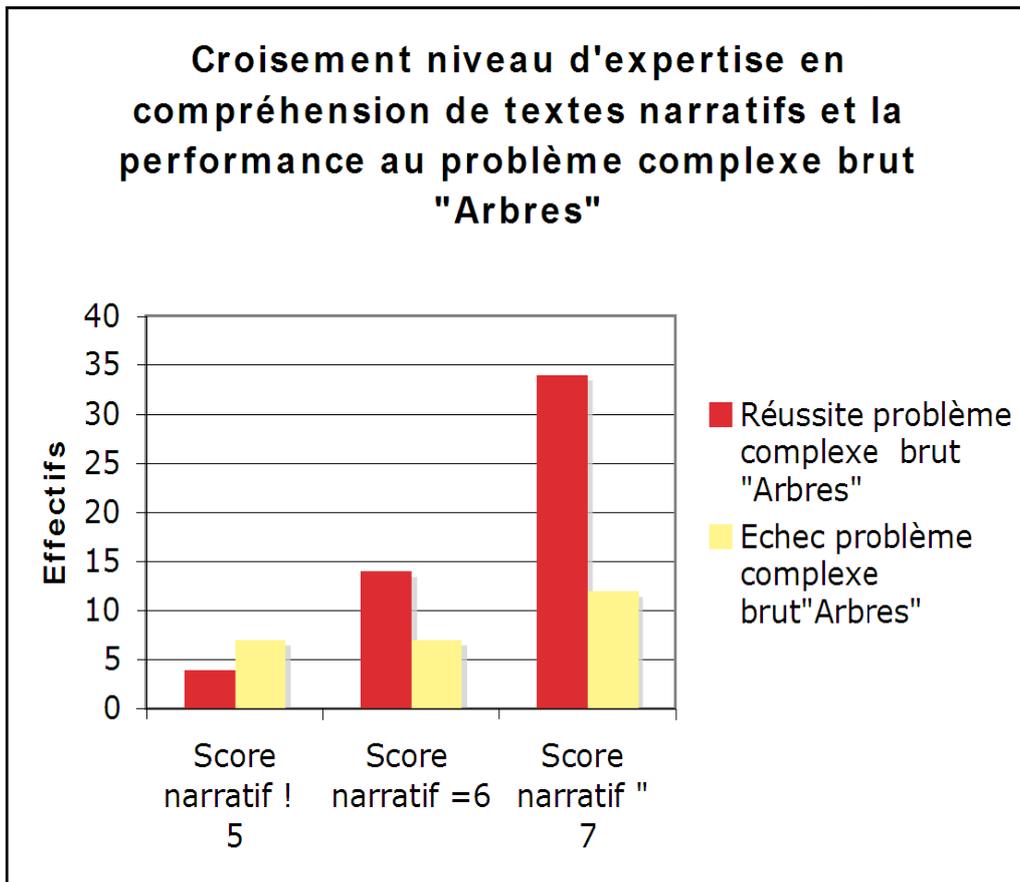
Annexe III

Graphique 2 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat aux problèmes complexes bruts (indépendamment des habillages).



Annexe IV

Graphique 3 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres ».



Annexe V

Calcul du coefficient de B ravais-Pearson entre les niveaux d'expertise ≤ 5 et ≥ 7 et la performance en résolution de problèmes arithmétique complexe sous l'habillage « Arbres » (échantillon de 57 sujets)

Élèuess	X	Y	(x-moyenx)2	(y-moyeny)2	(x-mx)*(y-my)
1	1	1	0,651277316	0,111111111	-0,269005848
2	1	1	0,651277316	0,111111111	-0,269005848
3	1	1	0,651277316	0,111111111	-0,269005848
4	1	1	0,651277316	0,111111111	-0,269005848
5	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
6	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
7	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
8	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
9	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
10	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
11	1	0	0,651277316	0,444444444	0,538011696
12	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
13	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
14	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
15	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
16	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
17	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
18	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
19	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
20	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
21	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
22	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
23	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
24	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
25	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
26	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
27	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
28	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
29	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
30	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
31	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
32	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
33	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
34	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
35	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
36	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
37	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
38	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
39	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485

40	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
41	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
42	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
43	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
44	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
45	2	1	0,037242228	0,111111111	0,064327485
46	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
47	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
48	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
49	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
50	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
51	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
52	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
53	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
54	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
55	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
56	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
57	2	0	0,037242228	0,444444444	-0,128654971
		Sommes	8,877192982	12,66666667	3,333333333
				r=	0,314347307

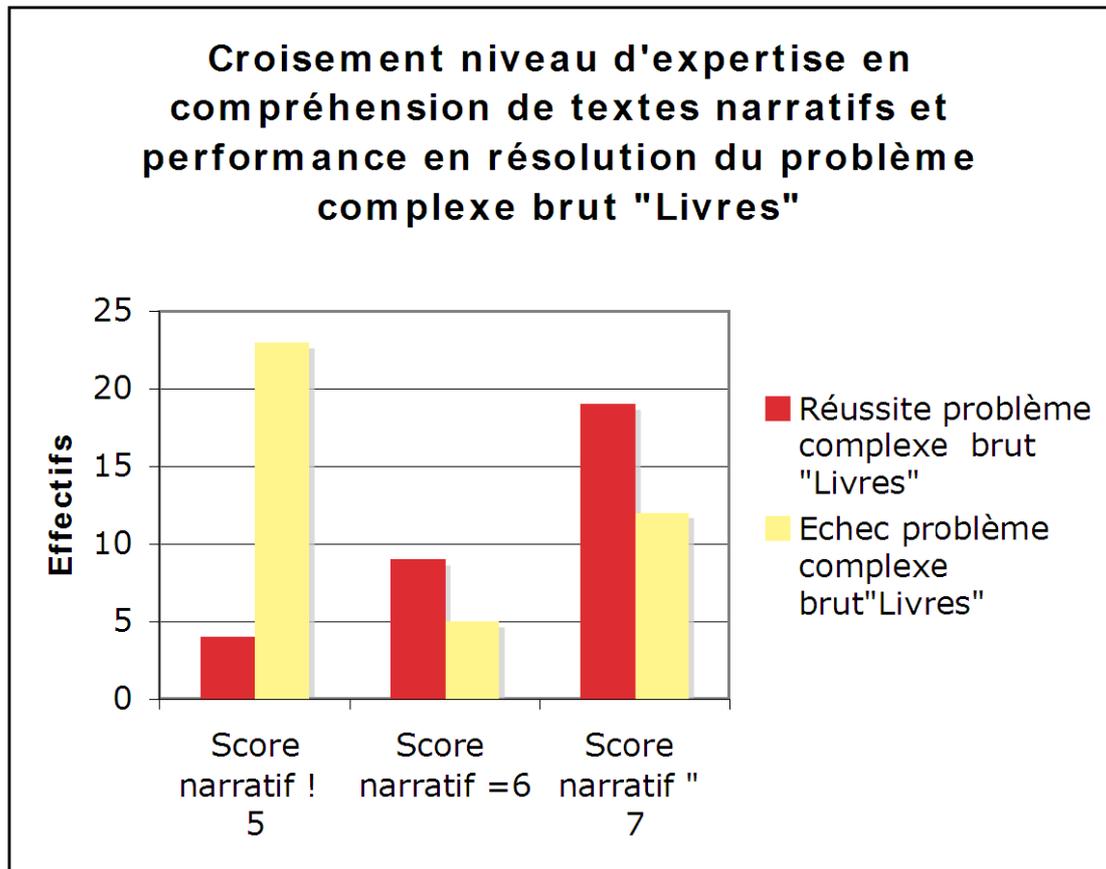
Annexe VI

Calcul du coefficient de B ravais-Pearson entre les niveaux d'expertise ≤ 5 et $=6$ et la performance en résolution de problèmes arithmétique complexe sous l'habillage « Arbres » (échantillon de 32 sujets)

Élèves	X	Y	(x-mx) ²	(y-my) ²	(x-mx)*(y-my)
1	1	1	0,430664063	0,219726563	-0,307617188
2	1	1	0,430664063	0,219726563	-0,307617188
3	1	1	0,430664063	0,219726563	-0,307617188
4	1	1	0,430664063	0,219726563	-0,307617188
5	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
6	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
7	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
8	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
9	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
10	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
11	1	0	0,430664063	0,282226563	0,348632813
12	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
13	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
14	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
15	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
16	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
17	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
18	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
19	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
20	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
21	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
22	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
23	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
24	2	1	0,118164063	0,219726563	0,161132813
25	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
26	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
27	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
28	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
29	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
30	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
31	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
32	2	0	0,118164063	0,282226563	-0,182617188
		Sommes	7,21875	7,96875	1,84375
				r=	0,243094947

Annexe VII

Graphique 4 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».



Annexe VIII

Calcul du coefficient de B ravais-Pearson entre les niveaux d'expertise ≤ 5 et $= 6$ et la performance en résolution de problèmes arithmétique complexe sous l'habillage « Livres » (échantillon de 41 sujets)

Elèves	X	Y	(x-moyenx)*(y-moyeny)	(x-moyenx)2	(y-moyeny)2
1	0	1	-0,233194527	0,116597264	0,466389054
2	0	1	-0,233194527	0,116597264	0,466389054
3	0	1	-0,233194527	0,116597264	0,466389054
4	0	1	-0,233194527	0,116597264	0,466389054
5	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
6	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
7	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
8	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
9	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
10	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
11	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
12	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
13	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
14	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
15	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
16	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
17	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
18	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
19	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
20	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
21	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
22	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
23	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
24	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
25	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
26	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
27	0	0	0,108268888	0,116597264	0,100535396
28	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
29	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
30	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
31	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
32	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
33	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
34	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
35	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
36	1	1	0,449732302	0,433670434	0,466389054
37	1	0	-0,208804283	0,433670434	0,100535396
38	1	0	-0,208804283	0,433670434	0,100535396
39	1	0	-0,208804283	0,433670434	0,100535396

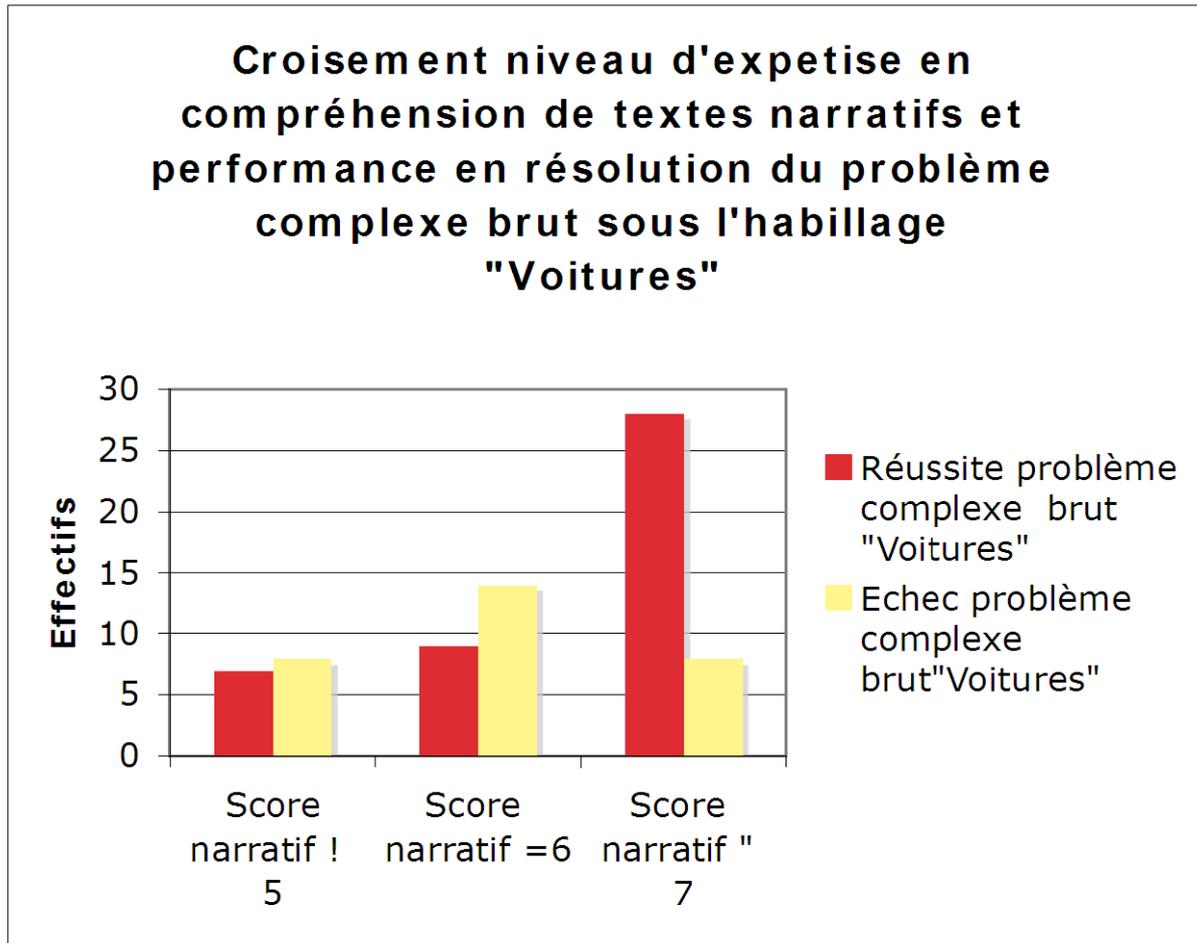
40	1	0	-0,208804283	0,433670434	0,100535396
41	1	0	-0,208804283	0,433670434	0,100535396

Sommes	4,56097561	9,219512195	8,87804878
--------	------------	-------------	------------

r = 0,50413287

Annexe IX

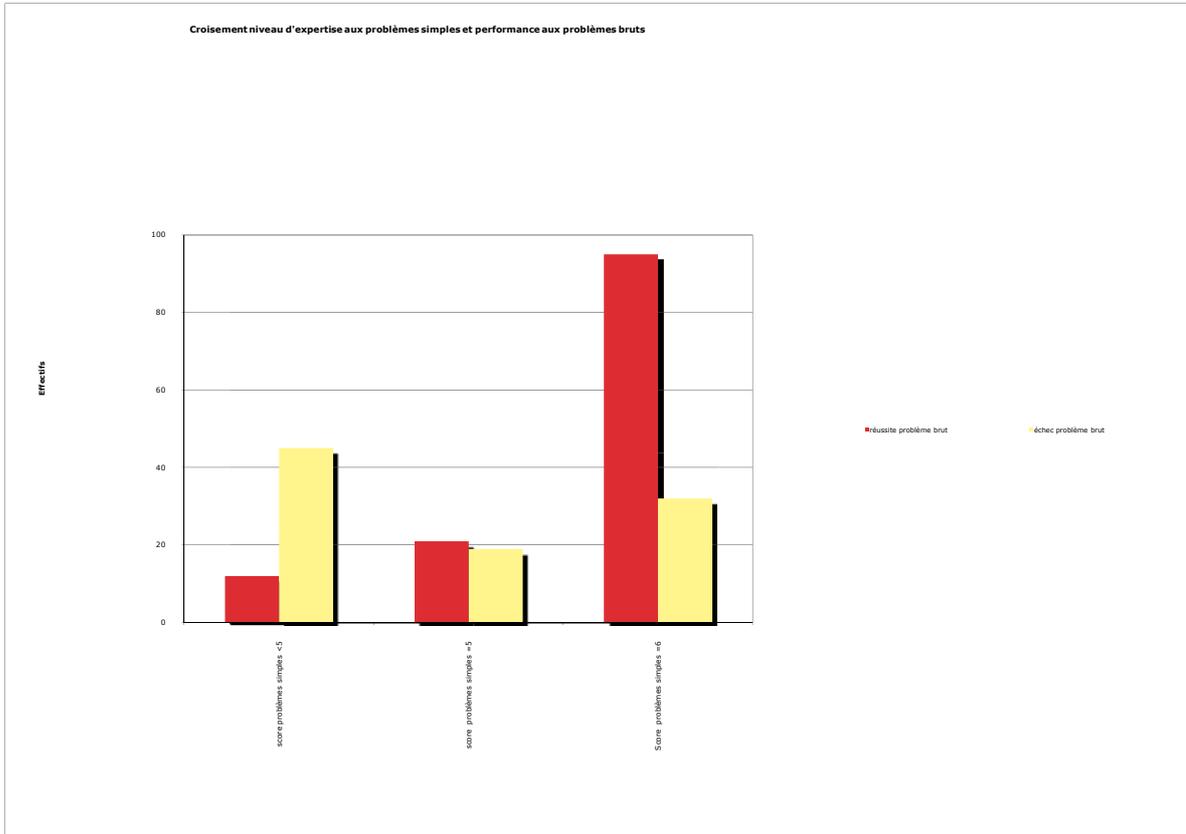
Graphique 5 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs (≤ 5 , $= 6$ et ≥ 7) et le résultat au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».



0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
0	0	-0,705882353	-0,68627451	0,498269896	0,470972703	0,484429066
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
1	0	0,294117647	-0,68627451	0,08650519	0,470972703	-0,201845444
0,705882353	0,68627451		sommes	10,58823529	10,98039216	3,294117647
			r=	0,305505046		

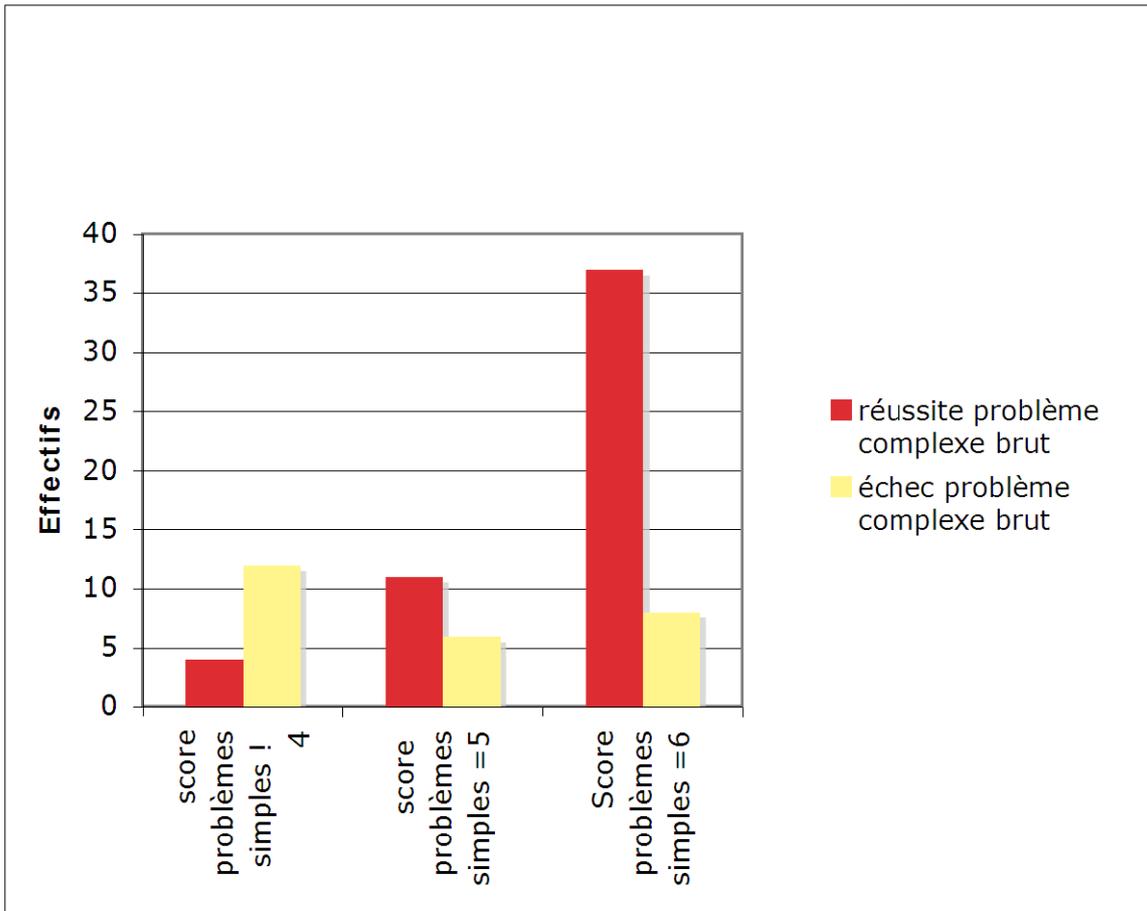
Annexe XI

Graphique 6 : Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance aux problèmes bruts



Annexe XII

Graphique 7 : Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples et la performance au problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres »



Annexe XIII

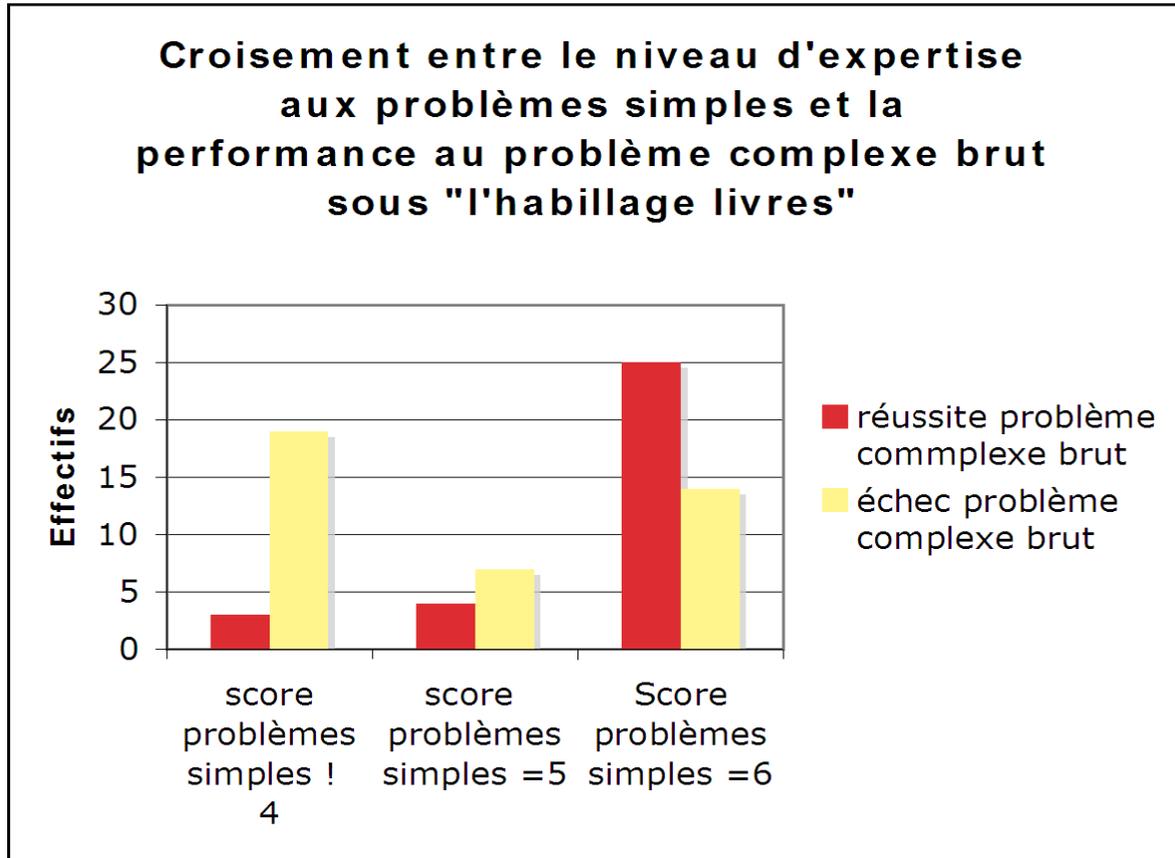
Calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson pour les niveaux d'expertise (5 et 6) aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Arbres »

Élèuess	X	Y	x-moyenx	y-moyeny	(x-moyenx)2	(y-moyeny)2	(x-moyenx)*(y-moyeny)
1	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
2	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
3	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
4	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
5	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
6	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
7	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
8	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
9	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
10	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
11	5	1	-0,725806452	0,225806452	0,526795005	0,050988554	-0,163891779
12	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
13	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
14	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
15	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
16	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
17	5	0	-0,725806452	0,774193548	0,526795005	0,59937565	0,561914672
18	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
19	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
20	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
21	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
22	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
23	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
24	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
25	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
26	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
27	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
28	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
29	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
30	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
31	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
32	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
33	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
34	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
35	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
36	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
37	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
38	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672

39	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
40	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
41	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
42	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
43	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
44	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
45	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
46	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
47	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
48	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
49	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
50	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
51	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
52	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
53	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
54	6	1	0,274193548	0,225806452	0,075182102	0,050988554	0,061914672
55	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
56	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
57	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
58	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
59	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
60	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
61	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
62	6	0	0,274193548	0,774193548	0,075182102	0,59937565	-0,212278876
					12,33870968	10,83870968	2,161290323
					Somme	Somme	Somme
Moyen X			5,725806452				
Moyen Y			0,774193548			r=	0,186891455

Annexe XIV

Graphique 8 : Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres »



Annexe XV

Calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson pour les niveaux d'expertise (4 et 5) aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».

Élèves	X	Y	x-moyenx	y-moyeny	(x-moyenx) ²	(y-moyeny) ²	(x-moyenx)*(y-moyeny)
1	4	1	-0,333333333	0,787878788	0,111111111	0,620752984	-0,262626263
2	4	1	-0,333333333	0,787878788	0,111111111	0,620752984	-0,262626263
3	4	1	-0,333333333	0,787878788	0,111111111	0,620752984	-0,262626263
4	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
5	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
6	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
7	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
8	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
9	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
10	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
11	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
12	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
13	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
14	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
15	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
16	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
17	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
18	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
19	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
20	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
21	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
22	4	0	-0,333333333	-0,212121212	0,111111111	0,044995409	0,070707071
23	5	1	0,666666667	0,787878788	0,444444444	0,620752984	0,525252525
24	5	1	0,666666667	0,787878788	0,444444444	0,620752984	0,525252525
25	5	1	0,666666667	0,787878788	0,444444444	0,620752984	0,525252525
26	5	1	0,666666667	0,787878788	0,444444444	0,620752984	0,525252525
27	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
28	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
29	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
30	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
31	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
32	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
33	5	0	0,666666667	-0,212121212	0,444444444	0,044995409	-0,141414141
					Somme	Somme	Somme
					7,333333333	5,515151515	1,666666667
Moyen x			4,333333333				
Moyen Y				0,212121212			
						r=	0,262071209

Annexe XVI

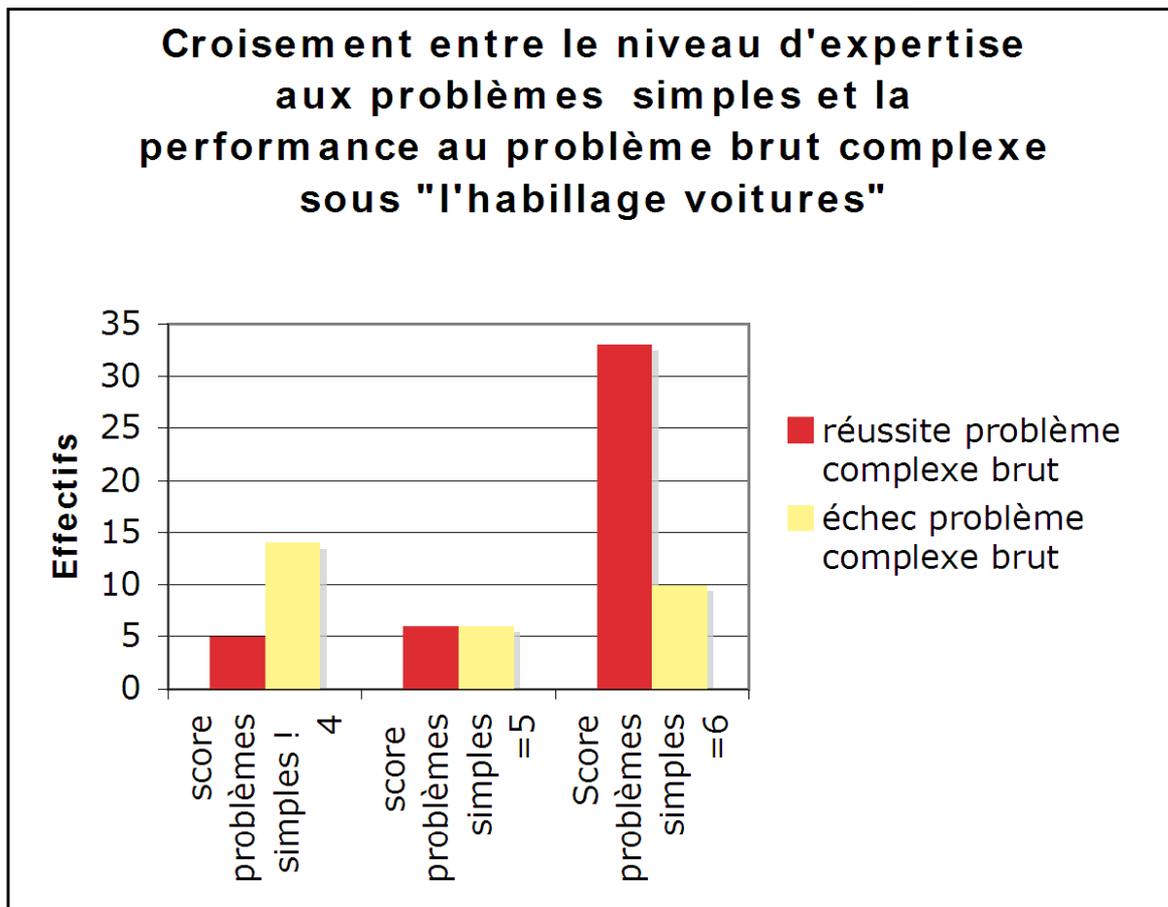
Calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson à partir des 50 sujets de l'échantillon pour les niveaux d'expertise (5 et 6) aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Livres ».

Élèves	X	Y	x-moyenx	y-moyeny	(x-moyenx) ²	(y-moyeny) ²	(x-moyenx)*(y-moyeny)
1	5	1	-0,78	0,42	0,6084	0,1764	-0,3276
2	5	1	-0,78	0,42	0,6084	0,1764	-0,3276
3	5	1	-0,78	0,42	0,6084	0,1764	-0,3276
4	5	1	-0,78	0,42	0,6084	0,1764	-0,3276
5	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
6	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
7	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
8	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
9	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
10	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
11	5	0	-0,78	-0,58	0,6084	0,3364	0,4524
12	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
13	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
14	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
15	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
16	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
17	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
18	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
19	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
20	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
21	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
22	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
23	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
24	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
25	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
26	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
27	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
28	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
29	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
30	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
31	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
32	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
33	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
34	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
35	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
36	6	1	0,22	0,42	0,0484	0,1764	0,0924
37	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
38	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
39	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276

40	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
41	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
42	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
43	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
44	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
45	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
46	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
47	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
48	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
49	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
50	6	0	0,22	-0,58	0,0484	0,3364	-0,1276
					Somme	Somme	Somme
					8,58	12,18	2,38
Moyen X			5,78	Moyen Y	0,58	r=	0,232814309

Annexe XVII

Graphique 9 : Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures » pour les 74 sujets de l'échantillon.



Annexe XVIII

Calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson à partir des 31 sujets de l'échantillon pour les niveaux d'expertise (4 et 5) aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

élèves	X	Y	x-moyenx	y-moyeny	(x-moyenx)2	(y-moyeny)2	(x-moyenx)*(y-moyeny)
1	4	1	-0,387096774	0,64516129	0,149843913	0,416233091	-0,249739854
2	4	1	-0,387096774	0,64516129	0,149843913	0,416233091	-0,249739854
3	4	1	-0,387096774	0,64516129	0,149843913	0,416233091	-0,249739854
4	4	1	-0,387096774	0,64516129	0,149843913	0,416233091	-0,249739854
5	4	1	-0,387096774	0,64516129	0,149843913	0,416233091	-0,249739854
6	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
7	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
8	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
9	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
10	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
11	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
12	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
13	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
14	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
15	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
16	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
17	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
18	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
19	4	0	-0,387096774	-0,35483871	0,149843913	0,12591051	0,13735692
20	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
21	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
22	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
23	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
24	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
25	5	1	0,612903226	0,64516129	0,375650364	0,416233091	0,395421436
26	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
27	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
28	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
29	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
30	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
31	5	0	0,612903226	-0,35483871	0,375650364	0,12591051	-0,21748179
					7,35483871	7,096774194	1,741935484
					Somme	Somme	Somme
Moyen X			4,387096774				
Moyen Y			0,35483871			r=	0,241109874

Annexe XIX

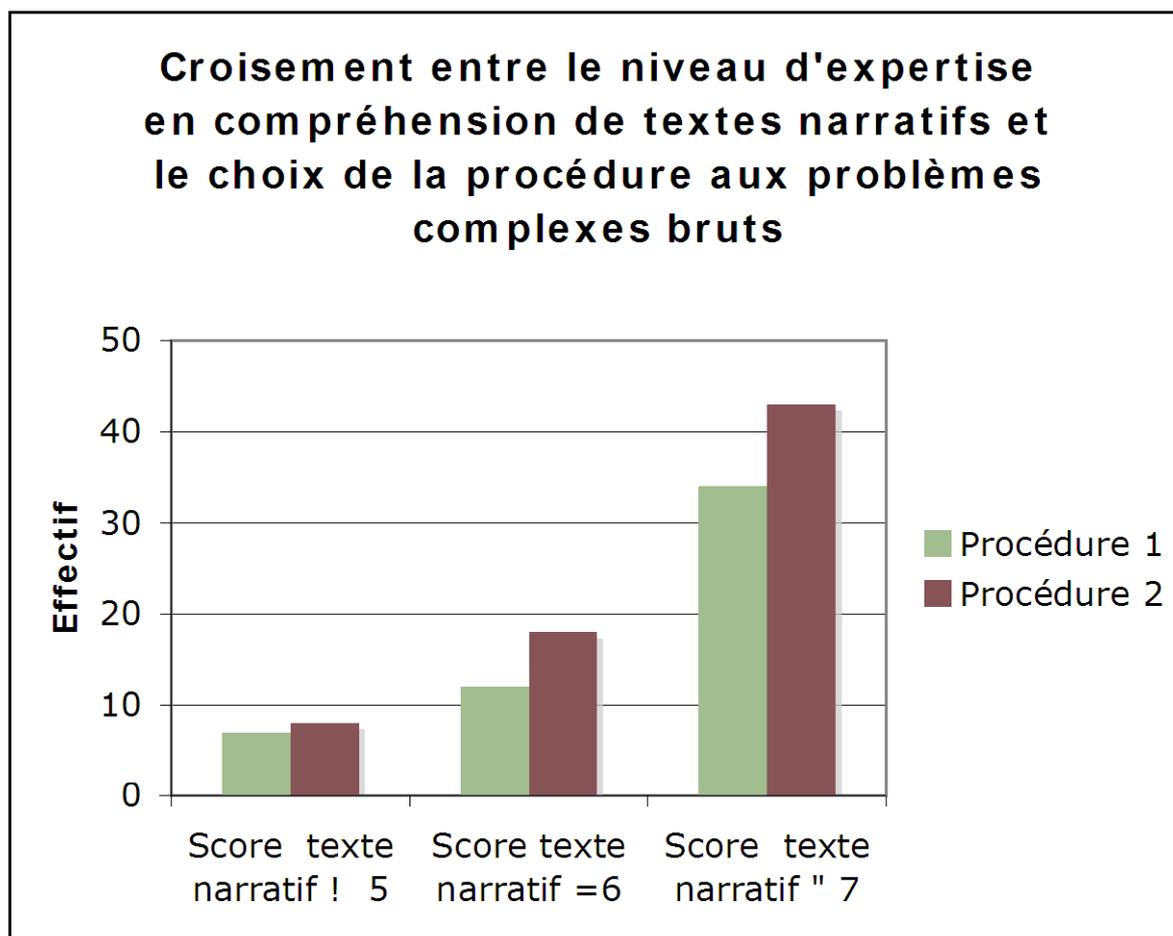
Calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson à partir des 55 sujets de l'échantillon pour les niveaux d'expertise (5 et 6) aux problèmes simples et la performance au problème complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

Élèves	X	Y	x-moyenx	y-moyeny	(x-moyenx)2	(y-moyeny)2	((x-moyenx)*(y-moyeny)
1	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
2	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
3	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
4	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
5	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
6	5	1	-0,781818182	0,290909091	0,611239669	0,084628099	-0,227438017
7	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
8	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
9	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
10	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
11	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
12	5	0	-0,781818182	-0,709090909	0,611239669	0,502809917	0,554380165
13	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
14	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
15	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
16	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
17	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
18	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
19	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
20	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
21	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
22	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
23	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
24	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
25	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
26	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
27	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
28	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
29	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
30	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
31	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
32	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
33	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
34	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
35	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
36	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
37	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
38	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
39	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
40	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
41	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074

42	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
43	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
44	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
45	6	1	0,218181818	0,290909091	0,047603306	0,084628099	0,063471074
46	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
47	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
48	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
49	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
50	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
51	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
52	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
53	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
54	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
55	6	0	0,218181818	-0,709090909	0,047603306	0,502809917	-0,154710744
					9,381818182	11,34545455	2,509090909
Moyen X			5,781818182		Somme	Somme	Somme
Moyen Y			0,709090909			r=	0,243199087

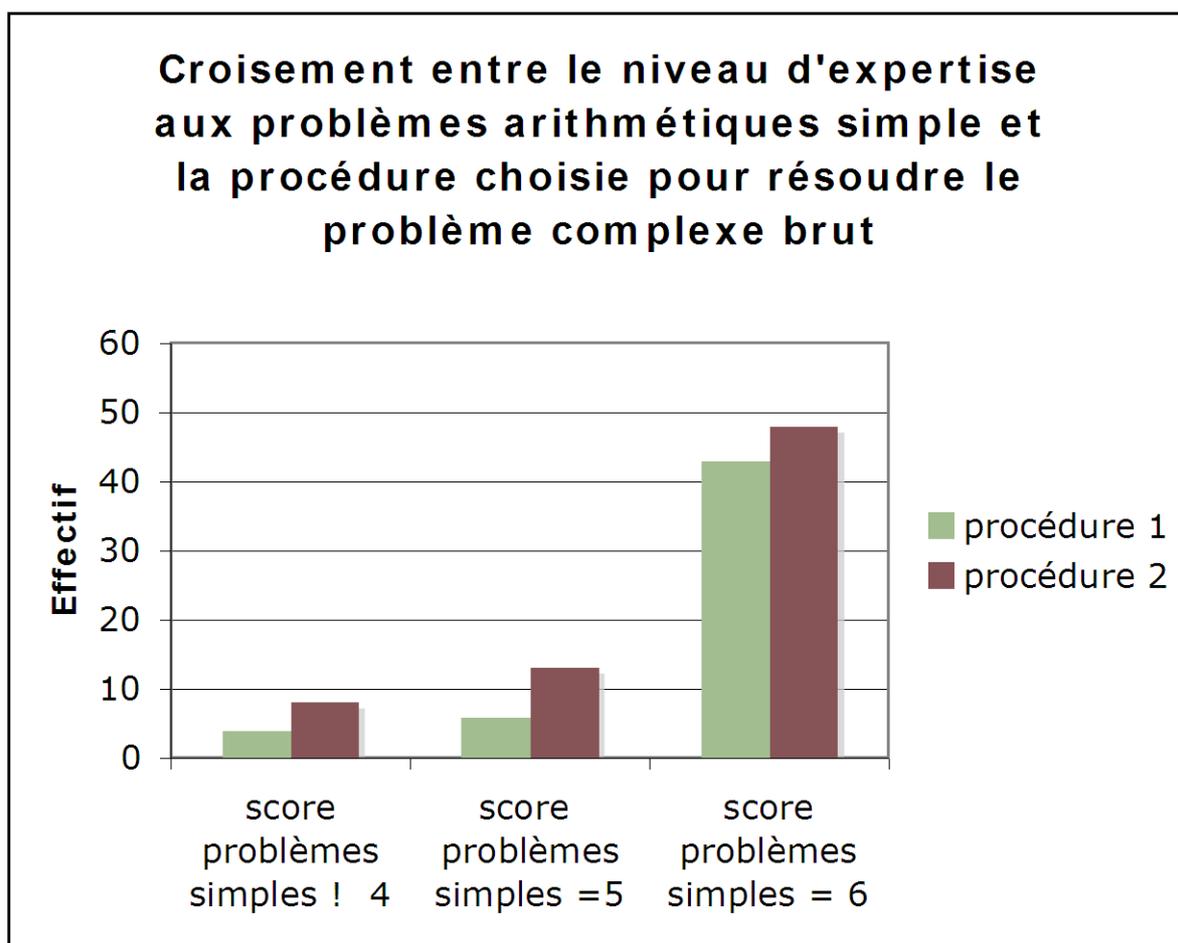
Annexe XX

Graphique 10 : Croisement entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et le choix de la procédure aux problèmes complexes bruts



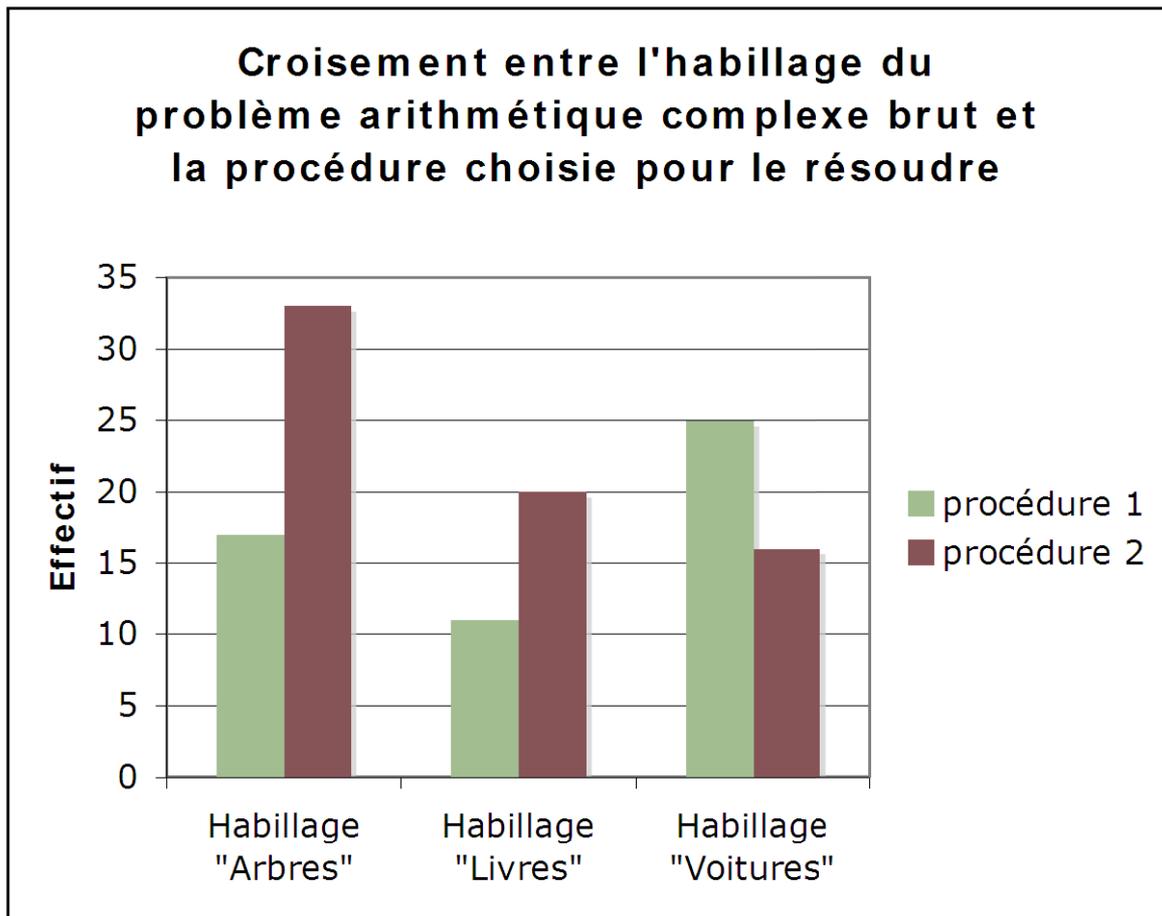
Annexe XXI

Graphique 11 : Croisement entre le niveau d'expertise aux problèmes arithmétiques simples et la procédure choisie pour résoudre le problème arithmétique complexe brut



Annexe XXII

Graphique 12 : Croisement entre l'habillage du problème arithmétique complexe brut et la procédure choisie pour le résoudre



Annexe XXIII

Détail des données relatives à une réponse correcte à la question des problèmes bruts

élèves	proc1	proc2	ecal proc1	ecal proc2	Proc Mixte
el13GB2					
el19GB2					
el1B1	1				
el2B1		1			
el3B1		1			
el4B1		1			
el5B1	1				
el6B1			1		
el10B1	1				
el11B1	1				
el12B1					
el13B1					
el14B1		1			
el15B1		1			
el16B1		1			
el17B1					
el19B1					
el21B1					
el22B1					
el23B1					
el24B1		1			
el27B1					
el28B1		1			
el1B2					
el3B2	1				
el4B2	1				
el6B2		1			
el21A14		1			
el1PC		1			
el2PC	1				
el3PC					
el4PC					1
el5PC	1				
el6PC					1
el7PC					
el8PC		1			
el9PC	1				
el10PC			1		
el11PC					
el12PC					
el13PC					
el14PC				1	
el15PC		1			
el16PC	1				

el17PC			1		
el18PC	1				
el19PC	1				
el20PC		1			
el21PC	1				
el22PC		1			
el23PC			1		
el24PC		1			
el25PC					
el26PC					
el1J					
el2J					
el3J				1	
el4J					
el5J		1			
el6J				1	
el7J		1			
el8J		1			
el9J					
el10J		1			
el11J		1			
el13J					
el14J		1			
el15J				1	
el16J		1			
el17J		1			
el18J		1			
el19J		1			
el21J		1			
el22J					
el23J					
el24J		1			
el25J		1			
el26J		1			
el27J					
el28J		1			
el1AI1	1				
el3AI1					
el4AI1		1			
el5AI1					
el7AI1		1			
el9AI1					
el1AI2					
el3AI2					
el6AI2			1		
el3AI3		1			
el23AI4				1	
el2B2		1			
el7B2		1			
el8B2					
el9B2		1			

el10B2		1			
el12B2		1			
el13B2					
el14B2		1			
el8B1					1
el9B1			1		
el18B1					
el20B1					
el26B1				1	
el1GB1		1			
el2GB1			1		
el4GB1		1			
el5GB1					
el7GB1	1				
el8GB1					
el9GB1	1				
el10GB1					
el1GB2					
el2GB2					
el3GB2					
el4GB2					
el5GB2		1			
el6GB2			1		
el7GB2		1			
el8GB2	1				
el9GB2					
el10GB2					
el11GB2					
el12GB2					
el15GB2					
el16GB2					
el17GB2					
el18GB2					
el20GB2					
el21GB2			1		
el22GB2					
el23GB2					
el24GB2					
el25GB2					
el1GB3		1			
el2GB3	1				
el4GB3				1	
el5GB3					
el6GB3					
el7GB3		1			
el8GB3					
el9GB3					
el10GB3					
el11GB3				1	
el12GB3					
el13GB3					

el14GB3					
el17GB3					
el20GB3		1			
el21GB3					
el22GB3	1				
el24GB3					
el25GB3					
el1RM					
el2RM	1				
el3RM					
el4RM					
el5RM					
el6RM					
el7RM					
el8RM					
el9RM	1				
el10RM	1				
el11RM		1			
el12RM	1				
el13RM				1	
el14RM					
el15RM	1				
el16RM				1	
el17RM			1		
el18RM			1		
el19RM	1				
el20RM				1	
el21RM					
el22RM					
el23RM					
el24RM		1			
el25RM					
el26RM					
el1AI4	1				
el2AI4					
el3AI4	1				
el4AI4					
el5AI4				1	
el6AI4				1	
el7AI4					
el8AI4	1				
el9AI4					
el10AI4				1	
el11AI4	1				
el12AI4					
el13AI4					
el14AI4		1			
el15AI4					
el16AI4			1		
el17AI4					
el18AI4				1	

el19AI4	1				
el20AI4	1				
el22AI4			1		
el1AI3	1				
el2AI3		1			
el4AI3	1				
el5AI3	1				
el6AI3					
el7AI3					1
el8AI3					
el9AI3					
el10AI3		1			
el12AI3			1		
el13AI3					1
el14AI3					
el15AI3					
el16AI3					
el17AI3					1
el18AI3			1		
el19AI3			1		
el20AI3					
el21AI3		1			
el22AI3					
el23AI3			1		
el6AI1		1			
el8AI1		1			
el4AI2	1				
el5AI2		1			
el7B1			1		
el24B1					

35	56	18	15	6
----	----	----	----	---

proc1 53
proc2 71

130

Annexe XXIV

Détail des données relatives aux réponses correctes aux trois questions des problèmes complexes proposés dans la version aidée 1

élèves	r1ok	ecalr1	r2oK	ecalr2	r3oK	ecalr3	ecalr1r2	proc2
el13GB2	1							
el19GB2	1		1					
el1B1	1		1		1			
el2B1	1		1		1			
el3B1		1	1				1	
el4B1	1							
el5B1	1		1			1		
el6B1	1		1		1			
el10B1	1		1		1			
el11B1	1		1		1			
el12B1	1							
el13B1	1		1					1
el14B1								
el15B1	1		1		1			
el16B1	1		1					1
el17B1								
el19B1	1							
el21B1	1		1		1			
el22B1								
el23B1	1		1					
el24B1		1						
el27B1	1		1		1			
el28B1		1	1					1
el1B2	1		1		1			
el3B2	1		1		1			
el4B2	1		1		1			
el6B2	1		1		1			
el21A14	1		1		1			
el1PC	1		1		1			
el2PC		1	1				1	
el3PC	1							
el4PC	1		1		1			
el5PC	1		1		1			
el6PC		1						
el7PC	1		1		1			
el8PC		1	1					1
el9PC	1		1		1			
el10PC	1		1		1			
el11PC		1	1				1	
el12PC		1						
el13PC		1						
el14PC	1		1					

el15PC	1		1					1
el16PC	1		1		1			
el17PC	1		1		1			
el18PC	1		1		1			
el19PC	1		1		1			
el20PC	1		1		1			
el21PC	1			1			1	
el22PC	1							
el23PC	1		1		1			
el24PC								
el25PC	1		1					
el26PC	1		1					
el1J	1		1		1			
el2J	1			1			1	
el3J		1	1				1	
el4J	1							
el5J								
el6J	1		1		1			
el7J	1		1		1			
el8J	1							
el9J	1		1		1			
el10J	1		1		1			
el11J	1		1		1			
el13J	1		1					
el14J	1							
el15J								
el16J	1		1		1			
el17J	1		1					
el18J								
el19J	1							
el21J	1		1		1			
el22J	1		1		1			
el23J	1		1		1			
el24J	1		1		1			
el25J	1		1		1			
el26J	1		1		1			
el27J	1		1		1			
el28J	1		1		1			
el1AI1		1	1				1	
el3AI1	1		1		1			
el4AI1	1		1					1
el5AI1	1							
el7AI1	1		1			1		
el9AI1	1							
el1AI2		1	1					
el3AI2	1		1					
el6AI2	1		1			1		
el3AI3	1		1		1			
el23AI4	1		1		1			
el2B2	1		1					
el7B2	1		1		1			

el8B2								
el9B2	1		1		1			
el10B2	1		1		1			
el12B2	1		1		1			
el13B2	1		1		1			
el14B2	1		1		1			
el8B1	1							
el9B1	1							
el18B1			1					
el20B1	1							
el26B1	1							
el1GB1	1							
el2GB1	1							
el4GB1	1			1			1	
el5GB1		1						
el7GB1	1		1		1			
el8GB1	1							
el9GB1	1		1		1			
el10GB1								
el1GB2								1
el2GB2	1		1		1			
el3GB2	1		1					1
el4GB2	1		1		1			
el5GB2	1		1		1			
el6GB2		1		1			1	
el7GB2	1							
el8GB2	1		1		1			
el9GB2								
el10GB2								
el11GB2								
el12GB2	1		1					
el15GB2		1	1					
el16GB2								
el17GB2		1						
el18GB2	1		1					
el20GB2	1		1		1			
el21GB2	1		1		1			
el22GB2	1							
el23GB2	1		1		1			
el24GB2								
el25GB2	1			1				
el1GB3	1		1					1
el2GB3	1		1			1		
el4GB3	1		1		1			
el5GB3		1	1				1	
el6GB3								
el7GB3	1		1		1			
el8GB3	1		1					
el9GB3								
el10GB3	1		1		1			
el11GB3	1		1		1			

el12GB3								
el13GB3		1						
el14GB3								
el17GB3								
el20GB3	1		1		1			
el21GB3								
el22GB3								
el24GB3			1					
el25GB3								
el1RM		1	1					
el2RM	1			1			1	
el3RM	1		1					
el4RM		1		1				
el5RM		1						
el6RM								
el7RM	1		1					
el8RM	1							
el9RM	1		1		1			
el10RM	1		1		1			
el11RM	1		1		1			
el12RM		1	1				1	
el13RM	1							
el14RM	1							
el15RM	1		1		1			
el16RM	1		1					
el17RM	1				1			
el18RM		1		1			1	
el19RM	1			1				1
el20RM		1		1			1	
el21RM	1		1		1			
el22RM								
el23RM								
el24RM	1		1		1			
el25RM	1		1			1		
el26RM	1		1					
el1AI4	1		1		1			
el2AI4	1							
el3AI4	1		1		1			
el4AI4	1						1	
el5AI4		1						
el6AI4	1							
el7AI4	1		1					1
el8AI4	1		1		1			
el9AI4	1		1					
el10AI4	1		1					1
el11AI4	1		1		1			
el12AI4	1		1		1			
el13AI4	1		1		1			
el14AI4			1			1		
el15AI4	1							
el16AI4	1		1					

el17AI4	1		1					1
el18AI4	1		1		1			
el19AI4	1		1		1			
el20AI4	1		1		1			
el22AI4		1	1			1		
el1AI3	1		1		1			
el2AI3	1		1			1		
el4AI3	1		1	1	1			
el5AI3	1						1	
el6AI3	1		1					
el7AI3		1	1				1	
el8AI3								
el9AI3		1						
el10AI3	1		1		1			
el12AI3								
el13AI3	1		1		1			
el14AI3	1							
el15AI3	1		1					
el16AI3	1							
el17AI3	1		1		1			
el18AI3		1	1				1	
el19AI3	1		1		1			
el20AI3								
el21AI3	1		1					1
el22AI3								
el23AI3								
el6AI1	1		1					1
el8AI1	1		1		1			
el4AI2	1							
el5AI2	1							
el7B1	1		1					
el24B1			1					

163 29 142 11 86 8 18 15

192		153				127
------------	--	------------	--	--	--	------------

Annexe XXV

Détail des données relatives aux réponses correctes aux quatre questions des problèmes complexes proposés dans la version aidée 2

élèves	r1ok	ecalr1	r2oK	ecalr2	r3ok	ecalr3	r4ok	ecalr4	ecalr1r2r3	proc1
el13GB2										
el19GB2	1		1		1					
el1B1										
el2B1	1		1		1		1			
el3B1										
el4B1	1		1			1			1	
el5B1	1		1		1		1			
el6B1		1	1		1		1			
el10B1	1		1			1			1	
el11B1	1		1		1		1			
el12B1		1		1		1			1	
el13B1	1		1		1		1			
el14B1	1		1		1			1		
el15B1	1		1		1		1			
el16B1	1		1		1		1			
el17B1										
el19B1										
el21B1	1		1		1		1			
el22B1	1		1			1				
el23B1	1		1			1				
el24B1	1		1		1		1			
el27B1	1		1		1		1			
el28B1	1		1		1		1			
el1B2	1		1			1				
el3B2	1		1		1		1			
el4B2	1		1		1		1			
el6B2	1		1		1		1			
el21A14	1		1		1		1			
el1PC	1		1		1		1			
el2PC	1		1		1		1			
el3PC										
el4PC	1		1		1		1			
el5PC	1		1		1		1			
el6PC										
el7PC	1		1			1				
el8PC	1		1			1			1	
el9PC	1		1		1		1			
el10PC	1		1		1		1			
el11PC	1		1		1		1			
el12PC										
el13PC										
el14PC		1		1		1			1	

el15PC	1		1			1			1	
el16PC	1		1		1		1			
el17PC	1		1		1		1			
el18PC	1		1		1		1			
el19PC	1		1		1		1			
el20PC	1		1		1					
el21PC		1	1		1				1	
el22PC	1		1		1					
el23PC	1		1		1					1
el24PC	1		1		1					
el25PC										
el26PC	1		1		1		1			
el1J	1		1			1			1	
el2J	1		1			1			1	
el3J	1		1		1		1			
el4J	1		1		1		1			
el5J	1		1			1			1	
el6J	1		1		1					
el7J	1		1			1			1	
el8J										
el9J	1		1		1		1			
el10J	1		1		1		1			
el11J	1		1		1		1			
el13J	1		1		1					
el14J	1		1		1		1			
el15J	1		1		1		1			
el16J	1		1		1		1			
el17J	1		1		1		1			
el18J	1		1		1		1			
el19J	1		1		1		1			
el21J	1		1		1		1			
el22J	1		1		1					
el23J	1		1		1		1			
el24J	1		1		1			1		
el25J	1		1		1		1			
el26J	1		1			1			1	
el27J	1		1			1			1	
el28J	1		1		1				1	
el1A1	1		1		1					1
el3A1	1		1		1		1			
el4A1		1	1		1				1	
el5A1	1		1		1					
el7A1	1		1		1		1			
el9A1		1		1		1				
el1A2			1		1				1	
el3A2	1		1		1		1			
el6A2	1		1		1		1			
el3A3	1		1			1			1	
el23A4	1		1		1		1			
el2B2	1		1		1		1			
el7B2	1		1		1		1			

el8B2	1		1		1					
el9B2	1			1	1				1	
el10B2	1		1		1		1			
el12B2	1		1		1		1			
el13B2	1		1		1		1			
el14B2		1	1		1				1	
el8B1	1		1		1		1			
el9B1	1		1		1					
el18B1		1		1		1			1	
el20B1	1		1		1					
el26B1	1		1		1		1			
el1GB1	1		1		1		1			
el2GB1				1					1	
el4GB1	1		1		1		1			
el5GB1	1		1		1					
el7GB1	1		1		1		1			
el8GB1	1		1		1		1			
el9GB1	1		1		1		1			
el10GB1	1		1			1			1	
el1GB2	1		1			1			1	
el2GB2	1			1	1					
el3GB2	1		1		1					
el4GB2	1		1		1					
el5GB2	1		1		1		1			
el6GB2		1		1		1			1	
el7GB2	1		1		1		1			
el8GB2	1			1	1				1	
el9GB2										
el10GB2										
el11GB2	1		1		1					
el12GB2										
el15GB2										
el16GB2	1		1		1			1		
el17GB2										
el18GB2	1			1		1				
el20GB2										
el21GB2										
el22GB2										
el23GB2	1		1			1			1	
el24GB2	1		1		1		1			
el25GB2										
el1GB3	1		1			1			1	
el2GB3	1		1		1		1			
el4GB3	1		1		1		1			
el5GB3										
el6GB3										
el7GB3	1		1		1					
el8GB3										
el9GB3										
el10GB3	1		1		1					
el11GB3	1		1		1					

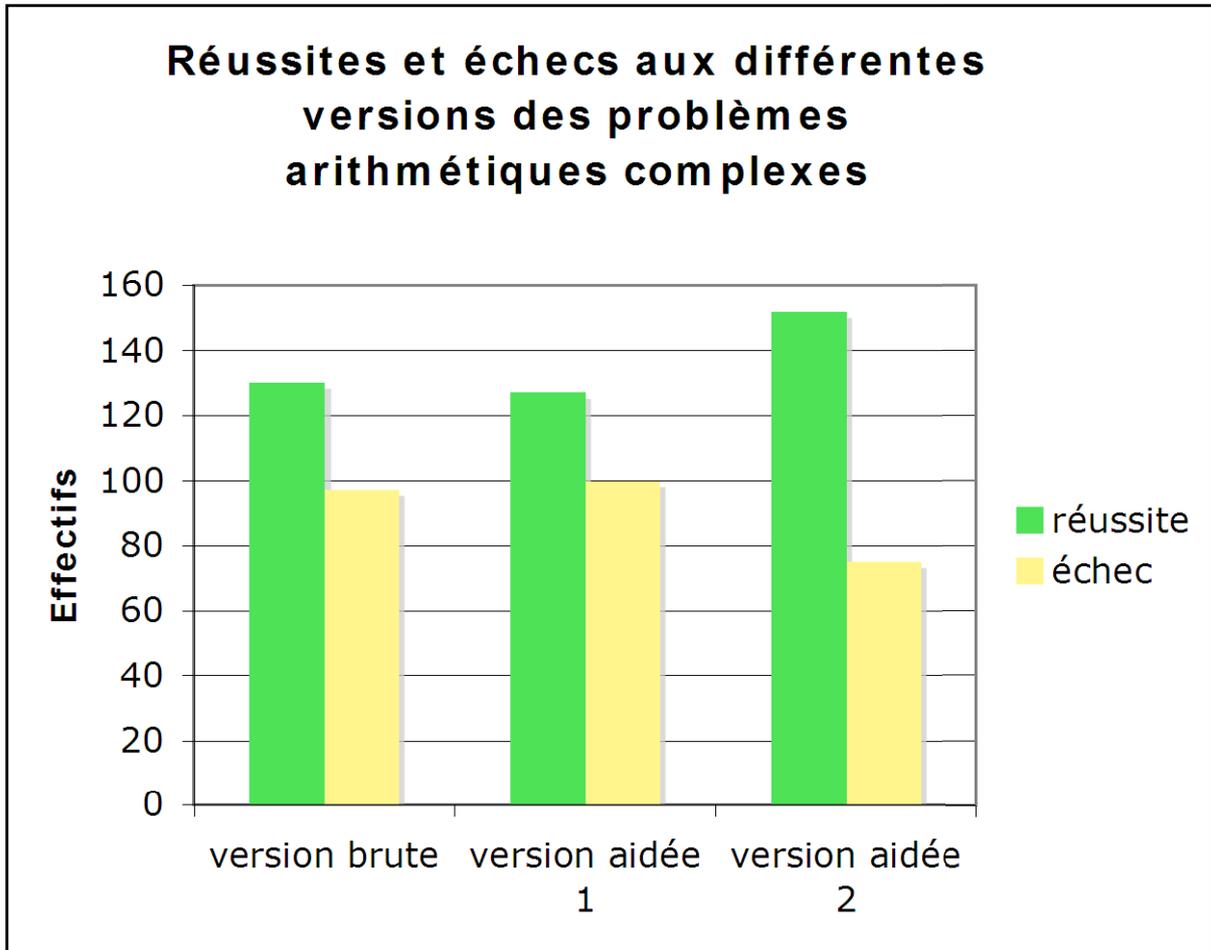
el12GB3									
el13GB3		1		1		1			1
el14GB3	1		1		1				
el17GB3									
el20GB3	1		1		1		1		
el21GB3									
el22GB3	1		1		1		1		
el24GB3	1		1		1				
el25GB3									
el1RM	1		1		1		1		
el2RM	1		1		1		1		
el3RM	1			1	1				
el4RM	1		1		1			1	
el5RM	1		1		1		1		
el6RM	1			1	1				1
el7RM	1		1		1			1	
el8RM	1		1			1			
el9RM	1		1		1		1		
el10RM	1		1		1		1		
el11RM	1		1		1		1		
el12RM	1		1		1		1		
el13RM		1		1		1			1
el14RM	1		1		1				
el15RM	1		1		1				
el16RM	1		1		1		1		
el17RM	1		1		1		1		
el18RM	1		1		1		1		
el19RM	1		1		1			1	
el20RM	1		1		1				
el21RM	1		1		1		1		
el22RM									
el23RM	1		1			1		1	
el24RM	1		1		1		1		
el25RM		1		1		1			1
el26RM	1		1		1		1		
el1AI4	1		1		1		1		
el2AI4									
el3AI4	1		1		1				1
el4AI4		1		1		1			1
el5AI4							1		
el6AI4	1		1		1		1		
el7AI4	1		1		1		1		
el8AI4	1		1		1		1		
el9AI4	1		1		1		1		
el10AI4	1		1			1			1
el11AI4	1		1		1				1
el12AI4		1	1		1				1
el13AI4	1		1		1				
el14AI4	1		1		1			1	
el15AI4	1		1		1				
el16AI4									

el17A4	1		1			1			1	
el18A4	1		1		1		1			
el19A4	1		1		1		1			
el20A4	1		1		1		1			
el22A4	1		1		1		1			
el1A3	1		1		1		1			
el2A3	1		1		1		1			
el4A3	1		1		1					1
el5A3										1
el6A3										
el7A3	1		1		1		1			
el8A3										
el9A3										
el10A3	1		1		1		1			
el12A3			1		1				1	
el13A3	1		1		1			1		
el14A3										
el15A3										
el16A3	1		1		1					
el17A3	1		1		1		1			
el18A3	1		1		1					
el19A3	1			1	1				1	
el20A3										
el21A3	1		1		1		1			
el22A3				1		1				
el23A3										
el6A1	1		1		1		1			
el8A1	1		1		1		1			
el4A2	1		1		1					1
el5A2	1		1		1					1
el7B1	1		1		1			1		
el24B1	1		1		1		1			

		169	18	152	34					
169	14		187		186	97	10	37	8	
	183				152					

Annexe XXVI

Graphique 9 : Réussites et échecs aux différentes versions des problèmes complexes



Annexe XXVII

Tableau précisant les performances à la version aidée1 des élèves ayant réussi le problème complexe brut. Les lignes colorées indiquent les sujets qui ont échoué à la version aidée1.

élèves	r3oK	ecalr3	ecalr1r2	proc2				Élèves ayant réussi le problème brut mais ayant échoué au problème version aidée 1
el13GB2							#VALEUR!	
el19GB2							#VALEUR!	
el1B1	1	0	0	0	1			
el2B2	1	0	0	0	1			
el3B2	0	0	1	0	1			
el4B1	0	0	0	0	1	el4B1	1	
el5B1	0	1	0	0	1			
el6B1	1	0	0	0	1			
el10B1	1	0	0	0	1			
el11B1	1	0	0	0	1			
el12B1							#VALEUR!	
el13B1							#VALEUR!	
el14B1	0	0	0	0	1	el14B1	1	
el15B1	1	0	0	0	1			
el16B1	0	0	0	1	1			
el17B1							#VALEUR!	
el19B1							#VALEUR!	
el21B1							#VALEUR!	
el22B1							#VALEUR!	
el23B1							#VALEUR!	
el24B1	0	0	0	0	1	el24B1	1	
el27B1							#VALEUR!	
el28B1	0	0	0	1	1			
el1B2							#VALEUR!	
el3B2	1	0	0	0	1			
el4B2	1	0	0	0	1			
el6B2	1	0	0	0	1			
el21A14	1	0	0	0	1			
el1PC	1	0	0	0	1			
el2PC	0	0	1	0	1			
el3PC							#VALEUR!	
el4PC	1	0	0	0	1			
el5PC	1	0	0	0	1			
el6PC	0	0	0	0	1	el6PC	1	
el7PC							#VALEUR!	
el8PC	0	0	0	1	1			
el9PC	1	0	0	0	1			
el10PC	1	0	0	0	1			
el11PC							#VALEUR!	
el12PC							#VALEUR!	
el13PC							#VALEUR!	

el14PC	0	0	0	0	1		el14PC	1	
el15PC	0	0	0	1	1				
el16PC	1	0	0	0	1				
el17PC	1	0	0	0	1				
el18PC	1	0	0	0	1				
el19PC	1	0	0	0	1				
el20PC	1	0	0	0	1				
el21PC	0	0	1	0	1				
el22PC	0	0	0	0	1		el22PC	1	
el23PC	1	0	0	0	1				
el24PC	0	0	0	0	1		el24PC	1	
el25PC							#VALEUR!		
el26PC							#VALEUR!		
el1J							#VALEUR!		
el2J							#VALEUR!		
el3J	0	0	1	0	1				
el4J							#VALEUR!		
el5J	0	0	0	0	1		el5J	1	
el6J	1	0	0	0	1				
el7J	1	0	0	0	1				
el8J	0	0	0	0	1		el8J	1	
el9J							#VALEUR!		
el10J	1	0	0	0	1				
el11J	1	0	0	0	1				
el13J							#VALEUR!		
el14J	0	0	0	0	1		el14J	1	
el15J	0	0	0	0	1		el15J	1	
el16J	1	0	0	0	1				
el17J	0	0	0	0	1		el17J	1	
el18J	0	0	0	0	1		el18J	1	
el19J	0	0	0	0	1		el19J	1	
el21J	1	0	0	0	1				
el22J							#VALEUR!		
el23J							#VALEUR!		
el24J	1	0	0	0	1				
el25J	1	0	0	0	1				
el26J	1	0	0	0	1				
el27J							#VALEUR!		
el28J	1	0	0	0	1				
el1AI1	0	0	1	0	1				
el3AI1							#VALEUR!		
el4AI1	0	0	0	1	1				
el5AI1							#VALEUR!		
el7AI1	0	1	0	0	1				
el9AI1							#VALEUR!		
el1AI2							#VALEUR!		
el3AI2							#VALEUR!		
el6AI2	0	1	0	0	1				
el3AI3	1	0	0	0	1				
el23AI4	1	0	0	0	1				
el2B2	0	0	0	0	1		el2B2	1	

el7B2	1	0	0	0	1			
el8B2							#VALEUR!	
el9B2	1	0	0	0	1			
el10B2	1	0	0	0	1			
el12B2	1	0	0	0	1			
el13B2							#VALEUR!	
el14B2	1	0	0	0	1			
el8B1	0	0	0	0	1	el8B1	1	
el9B1	0	0	0	0	1	el9B1	1	
el18B1							#VALEUR!	
el20B1							#VALEUR!	
el26B1	0	0	0	0	1	el26B1	1	
el1GB1	0	0	0	0	1	el1GB1	1	
el2GB1	0	0	0	0	1	el2GB1	1	
el4GB1	0	0	1	0	1			
el5GB1							#VALEUR!	
el7GB1	1	0	0	0	1			
el8GB1							#VALEUR!	
el9GB1	1	0	0	0	1			
el10GB1							#VALEUR!	
el1GB2							#VALEUR!	
el2GB2							#VALEUR!	
el3GB2							#VALEUR!	
el4GB2							#VALEUR!	
el5GB2	1	0	0	0	1			
el6GB2	0	0	1	0	1			
el7GB2	0	0	0	0	1	el7GB2	1	
el8GB2	1	0	0	0	1			
el9GB2							#VALEUR!	
el10GB2							#VALEUR!	
el11GB2							#VALEUR!	
el12GB2							#VALEUR!	
el15GB2							#VALEUR!	
el16GB2							#VALEUR!	
el17GB2							#VALEUR!	
el18GB2							#VALEUR!	
el20GB2							#VALEUR!	
el21GB2	1	0	0	0	1			
el22GB2							#VALEUR!	
el23GB2							#VALEUR!	
el24GB2							#VALEUR!	
el25GB2							#VALEUR!	
el1GB3	0	0	0	1	1			
el2GB3	0	1	0	0	1			
el4GB3	1	0	0	0	1			
el5GB3							#VALEUR!	
el6GB3							#VALEUR!	
el7GB3	1	0	0	0	1			
el8GB3							#VALEUR!	
el9GB3							#VALEUR!	
el10GB3							#VALEUR!	

el11GB3	1	0	0	0	1			
el12GB3						#VALEUR!		
el13GB3						#VALEUR!		
el14GB3						#VALEUR!		
el17GB3						#VALEUR!		
el20GB3	1	0	0	0	1			
el21GB3						#VALEUR!		
el22GB3	0	0	0	0	1	el22GB3	1	
el24GB3						#VALEUR!		
el25GB3						#VALEUR!		
el1RM						#VALEUR!		
el2RM	0	0	1	0	1			
el3RM						#VALEUR!		
el4RM						#VALEUR!		
el5RM						#VALEUR!		
el6RM						#VALEUR!		
el7RM						#VALEUR!		
el8RM						#VALEUR!		
el9RM	1	0	0	0	1			
el10RM	1	0	0	0	1			
el11RM	1	0	0	0	1			
el12RM	0	0	1	0	1			
el13RM	0	0	0	0	1	el13RM	1	
el14RM						#VALEUR!		
el15RM	1	0	0	0	1			
el16RM	0	0	0	0	1	el16RM	1	
el17RM	1	0	0	0	1			
el18RM	0	0	1	0	1			
el19RM	0	0	0	1	1			
el20RM	0	0	1	0	1			
el21RM						#VALEUR!		
el22RM						#VALEUR!		
el23RM						#VALEUR!		
el24RM	1	0	0	0	1			
el25RM						#VALEUR!		
el26RM						#VALEUR!		
el1AI4	1	0	0	0	1			
el2AI4						#VALEUR!		
el3AI4	1	0	0	0	1			
el4AI4						#VALEUR!		
el5AI4	0	0	0	0	1	el5AI4	1	
el6AI4	0	0	0	0	1	el6AI4	1	
el7AI4						#VALEUR!		
el8AI4	1	0	0	0	1			
el9AI4						#VALEUR!		
el10AI4	0	0	0	1	1			
el11AI4	1	0	0	0	1			
el12AI4						#VALEUR!		
el13AI4						#VALEUR!		
el14AI4	0	1	0	0	1			
el15AI4						#VALEUR!		

el16A14	0	0	0	0	1	el16A14	1	
el17A14						#VALEUR!		
el18A14	1	0	0	0	1			
el19A14	1	0	0	0	1			
el20A14	1	0	0	0	1			
el22A14	0	1	0	0	1			
el1A13	1	0	0	0	1			
el2A13	0	1	0	0	1			
el4A13	1	0	0	0	1			
el5A13	0	0	1	0	1			
el6A13						#VALEUR!		
el7A13	0	0	1	0	1			
el8A13						#VALEUR!		
el9A13						#VALEUR!		
el10A13	1	0	0	0	1			
el12A13	0	0	0	0	1	el12A13	1	
el13A13	1	0	0	0	1			
el14A13						#VALEUR!		
el15A13						#VALEUR!		
el16A13						#VALEUR!		
el17A13	1	0	0	0	1			
el18A13	0	0	1	0	1			
el19A13	1	0	0	0	1			
el20A13						#VALEUR!		
el21A13	0	0	0	1	1			
el22A13						#VALEUR!		
el23A13	0	0	0	0	1	el23A13	1	
el6A11	0	0	0	1	1			
el8A11	1	0	0	0	1			
el4A12	0	0	0	0	1	el4A12	1	
el5A12	0	0	0	0	1	el5A12	1	
el7B1	0	0	0	0	1	el7B1	1	
el24B1						#VALEUR!		
						0		
	67	7	14	10	130		32	somme
	98							

Annexe XXVIII

Procédures détaillées utilisées par les 32 sujets ayant simultanément résolu correctement le problème complexe brut et échoué à la version aidée 1.

élèves	r1ok	abs	autre	r2oK	abs	autre	r3oK	abs	autre
el4B1	1					1	proc2	1	
el14B1			1 156+1 85			1	32+51		1 341-83
el24B1	1					1	proc2		1 581-462
el6PC	1					1	(32-51)-43		1 586-38
el14PC	1			1					1 588+126
el22PC	1					1	588-124 (proc1)		1 32+51+41
el24PC			1 ad totale			1	ad totale		1 ad totale
el5J			1 156- 185=1 981			1	(32-51)-43=138		1 1981-247
el8J	1					1	588-32-51-43 (proc 1)		1 588-51-32- 43
el14J	1					1	proc2		1 588-462
el15J			1 156- 32			1	185-51		1 247-43
el17J	1			1					1 (156-32)- (185-51)- (247-43)
el18J			1 (156x 32)+(185x5 1)...			1	proc2	1	
el19J	1					1	proc2		1 588-462
el2B2	1			1					1 16+22
el8B1	1					1	(438-16), (438-16)- 22,(((438-16)-22)-25)		1 (438- 422)+(422- 400)+(400- 400)
el9B1	1					1	proc1/400		1 38
el26B1	1					1	proc2/378		1 (139-16)- (146-22)- (153-25)
el1GB1	1					1	435 (pas de calcul)		1 8
el2GB1	1					1	proc2/435		1 3
el7GB2	1					1	proc2/375		1 163
el22GB3			1 139			1	16		1 25
el13RM	1					1	proc 2/ 68		1 0

el16RM	1					1	101 et 569-101 (proc1)			1	101
el5AI4	1					1	proc2/468			1	565-468
el6AI4	1					1	24-(42-35)			1	569-18
el16AI4	1				1					1	101-569
el12AI3			1	569+1 01		1	42-35-24			1	670-2
el23AI3		1				1			1		
el4AI2	1					1	569-101 (proc1)			1	569-468
el5AI2	1					1	proc2			1	101
el7B1	1				1				1		

21	1	7		5	1	26			4	28
----	---	---	--	---	---	----	--	--	---	----

Annexe XXIX

Tableau précisant les performances à la version aidée2 des élèves ayant réussi le problème complexe brut. Les lignes colorées indiquent les sujets qui ont échoué à la version aidée2.

élèves	r4ok	ecalr4	ecalr1r2r3	procl			élèves	Ok brut et échec aidée2
el13GB2							#VALEUR!	
el19GB2							#VALEUR!	
el1B1	0	0	0	0	1		el1B1	1
el2B1	1	0	0	0	1			
el3B1	0	0	0	0	1		el3B1	1
el4B1	0	0	1	0	1			
el5B1	1	0	0	0	1			
el6B1	1	0	0	0	1			
el10B1	0	0	1	0	1			
el11B1	1	0	0	0	1			
el12B1							#VALEUR!	
el13B1							#VALEUR!	
el14B1	0	1	0	0	1			
el15B1	1	0	0	0	1			
el16B1	1	0	0	0	1			
el17B1							#VALEUR!	
el19B1							#VALEUR!	
el21B1							#VALEUR!	
el22B1							#VALEUR!	
el23B1							#VALEUR!	
el24B1	1	0	0	0	1			
el27B1							#VALEUR!	
el28B1	1	0	0	0	1			
el1B2							#VALEUR!	
el3B2	1	0	0	0	1			
el4B2	1	0	0	0	1			
el6B2	1	0	0	0	1			
el21A14	1	0	0	0	1			
el1PC	1	0	0	0	1			
el2PC	1	0	0	0	1			
el3PC							#VALEUR!	
el4PC	1	0	0	0	1			
el5PC	1	0	0	0	1			
el6PC	0	0	0	0	1		el6PC	1
el7PC							#VALEUR!	
el8PC	0	0	1	0	1			
el9PC	1	0	0	0	1			
el10PC	1	0	0	0	1			
el11PC							#VALEUR!	
el12PC							#VALEUR!	
el13PC							#VALEUR!	
el14PC	0	0	1	0	1			
el15PC	0	0	1	0	1			

el16PC	1	0	0	0	1		
el17PC	1	0	0	0	1		
el18PC	1	0	0	0	1		
el19PC	1	0	0	0	1		
el20PC	0	0	0	0	1	el20PC	1
el21PC	0	0	1	0	1		
el22PC	0	0	0	0	1	el22PC	1
el23PC	0	0	0	1	1		
el24PC	0	0	0	0	1	el24PC	1
el25PC						#VALEUR!	
el26PC						#VALEUR!	
el1J						#VALEUR!	
el2J						#VALEUR!	
el3J	1	0	0	0	1		
el4J						#VALEUR!	
el5J	0	0	1	0	1		
el6J	0	0	0	0	1	el6J	1
el7J	0	0	1	0	1		
el8J	0	0	0	0	1	el8J	1
el9J						#VALEUR!	
el10J	1	0	0	0	1		
el11J	1	0	0	0	1		
el13J						#VALEUR!	
el14J	1	0	0	0	1		
el15J	1	0	0	0	1		
el16J	1	0	0	0	1		
el17J	1	0	0	0	1		
el18J	1	0	0	0	1		
el19J	1	0	0	0	1		
el21J	1	0	0	0	1		
el22J						#VALEUR!	
el23J						#VALEUR!	
el24J	0	1	0	0	1		
el25J	1	0	0	0	1		
el26J	0	0	1	0	1		
el27J						#VALEUR!	
el28J	0	0	1	0	1		
el1AI1	0	0	0	1	1		
el3AI1						#VALEUR!	
el4AI1	0	0	1	0	1		
el5AI1						#VALEUR!	
el7AI1	1	0	0	0	1		
el9AI1						#VALEUR!	
el1AI2						#VALEUR!	
el3AI2						#VALEUR!	
el6AI2	1	0	0	0	1		
el3AI3	0	0	1	0	1		
el23AI4	1	0	0	0	1		
el2B2	1	0	0	0	1		
el7B2	1	0	0	0	1		
el8B2						#VALEUR!	

eI9B2	0	0	1	0	1		
eI10B2	1	0	0	0	1		
eI12B2	1	0	0	0	1		
eI13B2						#VALEUR!	
eI14B2	0	0	1	0	1		
eI8B1	1	0	0	0	1		
eI9B1	0	0	0	0	1	eI9B1	1
eI18B1						#VALEUR!	
eI20B1						#VALEUR!	
eI26B1	1	0	0	0	1		
eI1GB1	1	0	0	0	1		
eI2GB1	0	0	1	0	1		
eI4GB1	1	0	0	0	1		
eI5GB1						#VALEUR!	
eI7GB1	1	0	0	0	1		
eI8GB1						#VALEUR!	
eI9GB1	1	0	0	0	1		
eI10GB1						#VALEUR!	
eI1GB2						#VALEUR!	
eI2GB2						#VALEUR!	
eI3GB2						#VALEUR!	
eI4GB2						#VALEUR!	
eI5GB2	1	0	0	0	1		
eI6GB2	0	0	1	0	1		
eI7GB2	1	0	0	0	1		
eI8GB2	0	0	1	0	1		
eI9GB2						#VALEUR!	
eI10GB2						#VALEUR!	
eI11GB2						#VALEUR!	
eI12GB2						#VALEUR!	
eI15GB2						#VALEUR!	
eI16GB2						#VALEUR!	
eI17GB2						#VALEUR!	
eI18GB2						#VALEUR!	
eI20GB2						#VALEUR!	
eI21GB2	0	0	0	0	1	eI21GB2	1
eI22GB2						#VALEUR!	
eI23GB2						#VALEUR!	
eI24GB2						#VALEUR!	
eI25GB2						#VALEUR!	
eI1GB3	0	0	1	0	1		
eI2GB3	1	0	0	0	1		
eI4GB3	1	0	0	0	1		
eI5GB3						#VALEUR!	
eI6GB3						#VALEUR!	
eI7GB3	0	0	0	0	1	eI7GB3	1
eI8GB3						#VALEUR!	
eI9GB3						#VALEUR!	
eI10GB3						#VALEUR!	
eI11GB3	0	0	0	0	1	eI11GB3	1
eI12GB3						#VALEUR!	

el13GB3							#VALEUR!	
el14GB3							#VALEUR!	
el17GB3							#VALEUR!	
el20GB3	1	0	0	0	1			
el21GB3							#VALEUR!	
el22GB3	1	0	0	0	1			
el24GB3							#VALEUR!	
el25GB3							#VALEUR!	
el1RM							#VALEUR!	
el2RM	1	0	0	0	1			
el3RM							#VALEUR!	
el4RM							#VALEUR!	
el5RM							#VALEUR!	
el6RM							#VALEUR!	
el7RM							#VALEUR!	
el8RM							#VALEUR!	
el9RM	1	0	0	0	1			
el10RM	1	0	0	0	1			
el11RM	1	0	0	0	1			
el12RM	1	0	0	0	1			
el13RM	0	0	1	0	1			
el14RM							#VALEUR!	
el15RM	0	0	0	0	1	el15RM		1
el16RM	1	0	0	0	1			
el17RM	1	0	0	0	1			
el18RM	1	0	0	0	1			
el19RM	0	1	0	0	1			
el20RM	0	0	0	0	1	el20RM		1
el21RM							#VALEUR!	
el22RM							#VALEUR!	
el23RM							#VALEUR!	
el24RM	1	0	0	0	1			
el25RM							#VALEUR!	
el26RM							#VALEUR!	
el1AI4	1	0	0	0	1			
el2AI4							#VALEUR!	
el3AI4	0	0	0	1	1			
el4AI4							#VALEUR!	
el5AI4	1	0	0	0	1			
el6AI4	1	0	0	0	1			
el7AI4							#VALEUR!	
el8AI4	1	0	0	0	1			
el9AI4							#VALEUR!	
el10AI4	0	0	1	0	1			
el11AI4	0	0	0	1	1			
el12AI4							#VALEUR!	
el13AI4							#VALEUR!	
el14AI4	0	1	0	0	1			
el15AI4							#VALEUR!	
el16AI4	0	0	0	0	1	el16AI4		1
el17AI4							#VALEUR!	

el18A14	1	0	0	0	1		
el19A14	1	0	0	0	1		
el20A14	1	0	0	0	1		
el22A14	1	0	0	0	1		
el1A13	1	0	0	0	1		
el2A13	1	0	0	0	1		
el4A13	0	0	0	1	1		
el5A13	0	0	0	1	1		
el6A13						#VALEUR!	
el7A13	1	0	0	0	1		
el8A13						#VALEUR!	
el9A13						#VALEUR!	
el10A13	1	0	0	0	1		
el12A13	0	0	1	0	1		
el13A13	0	1	0	0	1		
el14A13						#VALEUR!	
el15A13						#VALEUR!	
el16A13						#VALEUR!	
el17A13	1	0	0	0	1		
el18A13	0	0	0	0	1	el18A13	1
el19A13	0	0	1	0	1		
el20A13						#VALEUR!	
el21A13	1	0	0	0	1		
el22A13						#VALEUR!	
el23A13	0	0	0	0	1	el23A13	1
el6A11	1	0	0	0	1		
el8A11	1	0	0	0	1		
el4A12	0	0	0	1	1		
el5A12	0	0	0	1	1		
el7B1	0	1	0	0	1		
el24B1						#VALEUR!	
					130		
	77	6	22	8			17
	113						

Annexe XXX

Détail des procédures utilisées par les 17 sujets ayant résolu correctement les problèmes complexes dans la version brute mais qui ont échoué lors de la version aidée 2.

élèves	r1ok	abs	autre	r2ok	abs	autre	r3ok	abs	autre	r4ok	abs	autre
el1B1		1	16		1	22		1	25		1	16+22+25
el3B1		1	proc1		1	(428-25)		1	428-22		1	365+403+406
el6PC		1	139+16		1	146+22		1	153+25		1	
el20PC	1			1			1					1 (146+123+153)-(123+124+128)
el22PC	1			1			1					1 (146+139+153)-(123+124+128)
el24PC	1			1			1				1	
el6J	1			1			1				1	
el8J		1	146-139=7		1	153-16=37		1	25-22		1	37-7-3
el9B1	1			1			1					aucun
el21GB2		1	569-24		1	569-35		1	569-42		1	146+175+248
el7GB3	1			1			1				1	3
el11GB3	1			1			1				1	122+175+248
el15RM	1			1			1				1	156+185+247=588
el20RM	1			1			1				1	247-(134-124)
el16AI4		1			1			1			1	
el18AI3	1			1			1				1	156+185+247=588
el23AI3		1			1			1			1	

10 2 5

10 2 5

10 2 5

0 5 $\frac{1}{2}$

Annexe XXXI

Données recueillies concernant l'élève e117J à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version brute habillage « Arbres ».

Ecole : Sauvillat Enseignant(e) : e117J

Nom : e117J prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Solution
Il reste 468 arbres

Opération

$$\begin{array}{r} 146 \\ - 24 \\ \hline 122 \end{array} \quad \begin{array}{r} 175 \\ - 42 \\ \hline 133 \end{array} \quad \begin{array}{r} 248 \\ - 35 \\ \hline 213 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 122 \\ + 133 \\ + 213 \\ \hline 468 \end{array}$$

Phase2thèse0409G1prob1

Annexe XXXII

Données recueillies concernant l'élève el17J à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 1 habillage « Livres ».

Ecole : Sauville Enseignant(e) : _____

Nom : el17J prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de livres y avait-il dans la bibliothèque le mercredi matin ?
- 2) Combien de livres les enfants ont-ils empruntés dans la journée ?
- 3) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?

①

$$\begin{array}{r} 156 \\ 185 \\ 247 \\ \hline 588 \end{array}$$

le mercredi il y avait 588 livres.

②

$$\begin{array}{r} 32 \\ +51 \\ +43 \\ \hline 126 \end{array}$$

les enfants ont empruntés 126 livres.

③

$\begin{array}{r} 156 \\ -32 \\ \hline 124 \end{array}$	$\begin{array}{r} 185 \\ -51 \\ \hline 134 \end{array}$	$\begin{array}{r} 247 \\ -43 \\ \hline 204 \end{array}$	$\begin{array}{r} 124 \\ -134 \\ -204 \\ \hline 010 \end{array}$
---	---	---	--

la fin de la journée il restait 10 livres

Phase2thèse0409G1prob3

Annexe XXXIII

Données recueillies concernant l'élève e15A14 à propos du problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Voitures ».

Ecole : Alpinab Enseignant(e) : _____

Nom : e15A14 prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée?

$$\begin{array}{r} 139 \\ - 16 \\ \hline 123 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 146 \\ - 22 \\ \hline 124 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 153 \\ - 25 \\ \hline 128 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 124 \\ + 126 \\ + 128 \\ \hline 378 \end{array}$$

Il reste 378 voitures dans le parking

Phase2thèse0409G3prob1

Annexe XXXIV

Données recueillies concernant l'élève e15A14 à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 1 sous l'habillage « Arbres ».

Ecole : Alvins ^{e15A14} Enseignant(e) : _____

Nom : e15A14 prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

- 1) Combien d'arbres y avait-il avant le passage du cyclone ? 565
- 2) Combien d'arbres ont été arrachés par le passage du cyclone ? 107
- 3) Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ? 458

$\begin{array}{r} 146 \\ + 175 \\ + 248 \\ \hline 565 \end{array}$	$\begin{array}{r} 146 \\ - 24 \\ \hline 122 \end{array}$	$\begin{array}{r} 175 \\ - 42 \\ \hline 133 \end{array}$	$\begin{array}{r} 248 \\ - 35 \\ \hline 213 \end{array}$
$\begin{array}{r} 122 \\ + 133 \\ + 213 \\ \hline 458 \end{array}$			$\begin{array}{r} 565 \\ - 107 \\ \hline 458 \end{array}$

Phase2thèse0409G3prob3

Annexe XXXV

Données recueillies concernant l'élève el1J à propos du problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

Ecole : Journelle Enseignant(e) : d15

Nom : **el 1 J** prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Après le passage du cyclone 335 arbres sont debout

Brouillon

$$\begin{array}{r} 146 \\ - 24 \\ \hline 122 \\ + 213 \\ \hline 335 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 248 \\ - 35 \\ \hline 213 \end{array}$$

Annexe XXXVI

Données recueillies concernant l'élève el 1 J à propos du problème arithmétique complexe proposé dans la version aidée 1 sous l'habillage « Livres ».

Ecole : Jourville 215 Enseignant(e) : _____

Nom : **el 1 J** _____ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de livres y avait-il dans la bibliothèque le mercredi matin ?
- 2) Combien de livres les enfants ont-ils empruntés dans la journée ?
- 3) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?

$$\begin{array}{r} 156 \\ + 185 \\ + 247 \\ \hline 588 \end{array}$$

1) Il y avait 588 livres mercredi

$$\begin{array}{r} 32 \\ + 51 \\ + 43 \\ \hline 126 \end{array}$$

2) Ils ont emprunté 126 livres

$$\begin{array}{r} 588 \\ - 126 \\ \hline 462 \end{array}$$

3) Il reste 462 livres

Phase2thèse0409G1prob3

Annexe XXXVII

Données recueillies concernant l'élève el23J à propos du problème arithmétique complexe proposé dans la version brute sous l'habillage « Arbres ».

Ecole : Joinville el23J Enseignant(e) : _____
 Nom : **el 23 J** _ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

Solution

$$146 - 24 = 122$$

$$248 - 35 = 213$$

$$175 - 42 = 133$$

122 arbres sont encore debout

opération

$\begin{array}{r} 146 \\ - 24 \\ \hline 122 \end{array}$	$\begin{array}{r} 248 \\ - 35 \\ \hline 213 \end{array}$	
$\begin{array}{r} 175 \\ - 42 \\ \hline 133 \end{array}$		$\begin{array}{r} 213 \\ 122 \\ \hline 335 \end{array}$

Annexe XXXVIII

Données recueillies concernant l'élève el23J à propos du problème arithmétique complexe proposé dans la version aidée 1 sous l'habillage « Livres ».

Ecole : Tainville el23J Enseignant(e) : _____
 Nom : **el 23 J** prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de livres y avait-il dans la bibliothèque le mercredi matin ?
- 2) Combien de livres les enfants ont-ils empruntés dans la journée ?
- 3) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée ?

Solution

$$156 + 185 + 247 = 588$$

$$32 + 51 + 43 = 126$$

$$588 - 126 = 462$$

Réponse

1) Il y avait 588 livres dans la bibliothèque le mercredi matin

2) 126 livres les enfants ont empruntés dans la journée

3) 462 livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée

opération

$$\begin{array}{r} 11 \\ 156 \\ + 185 \\ + 247 \\ \hline 588 \end{array} \quad \begin{array}{r} 32 \\ + 51 \\ + 43 \\ \hline 126 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 588 \\ - 126 \\ \hline 462 \end{array}$$

Annexe XXXIX

Données recueillies concernant l'élève el20PC à propos du problème arithmétique complexe brut sous l'habillage « Arbres ».

Ecole : St-Joseph Gommersheim Enseignant(e) : _____

Nom : el20PC prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

$24 - 146 = 122$, $175 - 42 = 133$, $35 - 248 = 213$

$122 + 133 + 213 = 468$ (en tout)

Il y a 468 arbres debout depuis le cyclone

Phase2thèse0409G1prob1

Annexe XL

Données recueillies concernant l'élève e120PC à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 2 sous l'habillage « Voitures ».

Ecole : St-Libert Commerçon Enseignant(e) : _____
Nom : e120PC _____ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

- 1) Combien de voitures sont encore garées sur le premier niveau du parking en fin de matinée ?
- 2) Combien de voitures sont encore garées sur le deuxième niveau du parking en fin de matinée ?
- 3) Combien de voitures sont encore garées sur le troisième niveau du parking en fin de matinée ?
- 4) Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée ?

$139 - 16 = 123$ voiture

Il y a 123 voitures au 1^{er} étage.

Il y a 124 voiture au 2^{ème} étage

Il y a 128 voiture au 3^{ème} étage

Il reste 147 voitures dans tout le parking

Phase2thèse0409G1prob5

Annexe XLII

Données recueillies concernant l'élève el15RM à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 2 sous l'habillage « Livres ».

Ecole : _____ Enseignant(e) : _____

Nom : _____ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de romans sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 2) Combien de bandes-dessinées sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 3) Combien d'albums sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 4) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?

$$156 - 32 = 124$$

$$185 - 51 = 134$$

$$247 - 43 = 204$$

$$156 + 185 + 247 = 588$$

1) Il reste 124 romans

2) Il reste 134 BD

3) Il reste 204 albums

4) Il reste 588 livres

Annexe XLIII

Données recueillies concernant l'élève el1RM à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version brute sous l'habillage « Voitures ».

Ecole : _____ Enseignant(e) : _____

Nom : **el 1 RM** prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Un grand parking payant du centre-ville de New York est construit sur trois niveaux. Dès l'ouverture le vendredi matin, 139 voitures se garent au premier niveau, 146 au deuxième niveau et 153 voitures au troisième niveau. En fin de matinée, 16 voitures quittent le premier niveau, 22 le deuxième niveau et 25 le troisième niveau.

Combien de voitures sont encore garées sur ce parking en fin de matinée?

Il a 1 voiture qui est garées

Brouillon

$$\begin{array}{r} 139 \\ - 16 \\ \hline 123 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 146 \\ - 22 \\ \hline 124 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 153 \\ - 25 \\ \hline 128 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 123 \\ - 124 \\ - 128 \\ \hline 001 \end{array}$$

Phase2thèse0409G3prob1

Annexe XLIV

Données recueillies concernant l'élève el1RM à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 2 sous l'habillage « Livres ».

Ecole : _____ Enseignant(e) : _____

Nom : **el 1 RM** _____ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

- 1) Combien de romans sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 2) Combien de bandes-dessinées sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 3) Combien d'albums sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?
- 4) Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée?

1) Il y a encore 124 roman à la fin de la journée
2) Il y a encore 134 bandes dessinées à la fin de la journée
3) Il y a encore 204 albums à la fin de la journée
4) Il y a 462 livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée

$$\begin{array}{r} 247 \\ 43 \\ \hline 204 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 185 \\ 51 \\ \hline 134 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 156 \\ 32 \\ \hline 124 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 124 \\ +134 \\ +204 \\ \hline 462 \end{array}$$

Phase2thèse0409G3prob.5

Annexe XLV

Données recueillies concernant l'élève el8GB1 à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version brute sous l'habillage « Livres ».

Ecole : R. Mondon Enseignant(e) : _____
Nom : **el 8 GB1** prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

La bibliothèque de la ville de Saint-Pierre comptait mercredi matin 156 romans, 185 bandes-dessinées et 247 albums. Des enfants ont emprunté 32 romans, 51 bandes-dessinées et 43 albums dans la journée. Ils les ont emmenés chez eux.

Combien de livres sont encore dans la bibliothèque à la fin de la journée de mercredi?

A la fin de la ^{fin} journée il reste 1638 livres.

Brouillon

$$\begin{array}{r} \overset{1}{1}56 \\ + 185 \\ + 247 \\ \hline 588 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} 588 \\ - 32 \\ \hline 556 \end{array} \quad \begin{array}{r} 588 \\ - 51 \\ \hline 537 \end{array} \quad \begin{array}{r} 588 \\ - 43 \\ \hline 545 \end{array}$$
$$\begin{array}{r} \overset{1}{1}56 \\ + 537 \\ + 545 \\ \hline 1638 \end{array}$$

Phase2thèse0409G2prob1

Annexe XLVI

Données recueillies concernant l'élève el8GB1 à propos du problème arithmétique complexe donné dans la version aidée 2 sous l'habillage « Arbres ».

Ecole : R. Mandan ^{el 8 GB1} Enseignant(e) : _____

Nom : el 8 GB1 _ prénom : _____

Consigne : Résous le problème suivant.

Dans une forêt, il y avait 146 cocotiers, 175 manguiers et 248 bananiers. Un cyclone a arraché 24 cocotiers, 42 manguiers et 35 bananiers.

- 1) Combien de cocotiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 2) Combien de manguiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 3) Combien de bananiers sont encore debout après le passage du cyclone ?
- 4) Combien d'arbres sont encore debout après le passage du cyclone ?

1) 146 - 24 = 122 cocotiers.
2) 175 - 42 = 133 manguiers.
3) 248 - 35 = 213 bananiers.
4) 122 + 133 + 213 = 468 arbres.

Brouillon

$$\begin{array}{r} 146 \\ - 24 \\ \hline 122 \end{array} \quad \begin{array}{r} 175 \\ - 42 \\ \hline 133 \end{array} \quad \begin{array}{r} 248 \\ - 35 \\ \hline 213 \end{array} \quad \begin{array}{r} 122 \\ + 133 \\ + 213 \\ \hline 468 \end{array}$$

RESUME : Cette recherche a pour objet la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques complexes et leur résolution. Les problèmes complexes choisis combinent des problèmes simples de types Changement et Combinaison. Ce travail s'appuie sur le modèle de la Construction-Intégration de Kintsch. Les résultats montrent qu'il existe une relation entre le niveau d'expertise en compréhension de textes narratifs et la résolution des problèmes arithmétiques complexes. Comprendre un texte narratif ou un énoncé de problème complexe exige de la part des lecteurs la construction d'un réseau propositionnel hiérarchisé et les résultats suggèrent, entre autres, une sensibilité des élèves aux propositions textuelles et aux ellipses contenues dans les textes.

La formation des macropropositions est un processus fondamental et les résultats montrent une relation entre le nombre d'objets contenus dans les énoncés de problème et la procédure préférentiellement choisie par les élèves. Ils suggèrent d'une part, la mise en œuvre du processus de catégorisation au cours du processus de compréhension et d'autre part, l'affaiblissement des liaisons entre les macropropositions élaborées et le schéma de problème Parties-Tout qui leur sont liés. D'un point de vue pédagogique, les résultats montrent que les questions relatives à l'activation d'une part des concepts superordonnés et d'autre part des schémas de problèmes Parties-Tout ne sont pas à privilégier pour aider les élèves.

Enfin, les connaissances du lecteur sont essentielles à la compréhension. Cet élément est confirmé ici et la compréhension des problèmes complexes nécessite des connaissances solides relativement aux problèmes arithmétiques simples.

Mots clés : Le modèle de la Construction-Intégration, réseau hiérarchique propositionnel, processus de catégorisation, problèmes arithmétiques complexes, schémas de problèmes, schéma Partie-Tout, schéma Transfert

SUMMARY : This research deals with text comprehension processes and complex arithmetic word problems resolution by 9-10 years old children in Reunion Island based upon the CI model of Kintsch. The complex word arithmetic problems used in this research are a combination of Change simple problems and Combine simple problems. The results show a relation between subject's level of expertise in narrative texts comprehension and complex arithmetic word problems resolution. In order to understand a narrative text or to resolve a complex arithmetic word problem, subjects have to elaborate a coherent hierarchical propositional network : bridging inferences and macropropositions are involved to achieve complex arithmetic word problems resolution too. More precisely, the results suggest children are sensitive to the number of propositions and to the ellipses.

Macropropositions formation is an integral process of reading. The results show a relation between number of objects in complex arithmetic problems and procedure naturally used by children to solve them. They suggest on the one hand, categorization processes are an integral part of reading and on the other hand, some links between macropropositions and arithmetic hypothesis become weaker. Consequently, questions about superordinate concepts and arithmetic hypothesis attached to them are not helpful to resolve complex arithmetic word problems.

Finally, reader's knowledge is a key element of comprehension processes and to achieve complex arithmetic word problems, problem schemata about simple arithmetic word problems are crucial. The results show a relation between subject's level of expertise in simple arithmetic word problems and complex arithmetic word problems resolution.

Key words : The Construction-Integration model, hierarchical propositional network, categorization processes, complex arithmetic word problems, problem schemata, the Part-Whole schema, the Transfert schema.

