Apprendre et raisonner : approche développementale et socio-cognitive du rôle des situations collectives et individuelles d'apprentissage

Romain Boissonnade

▶ **To cite this version:**

Romain Boissonnade. Apprendre et raisonner : approche développementale et socio-cognitive du rôle des situations collectives et individuelles d'apprentissage. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; Université de Neuchâtel (Neuchâtel, Suisse). Faculté des lettres et sciences humaines, 2011. Français. NNT : 2011TOU20097 . tel-00663351

HAL Id: tel-00663351

https://theses.hal.science/tel-00663351

Submitted on 26 Jan 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 Toulouse

THÈSE

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :
Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Cotutelle internationale avec :
Université de Neuchâtel (Suisse)

Discipline ou spécialité :
ED CLESCO : Psychologie

Présentée et soutenue par :
Romain Boissonnade

Le vendredi 28 octobre 2011

Titre :

Apprendre et raisonner : approche développementale et socio-cognitive du rôle des situations collectives et individuelles d'apprentissage

---

École doctorale :
Comportement, Langage, Education, Socialisation, COgnition (CLESCO)

Unité de recherche :
U.R.I Octogone-ECCD, EA 4156 (Toulouse) & Institut de Psychologie et Education (Neuchâtel)

Directeur(s) de Thèse :

Pr. Michèle Guidetti (Université de Toulouse) &
Pr. Anne-Nelly Perret-Clermont (Université de Neuchâtel)

Rapporteurs :

Pr. Annick Weil-Barais (Université d'Angers)
Pr. Margarida Cesar (Universidade de Lisboa)

Autre(s) membre(s) du jury :

Dr. Valérie Tartas (Université de Toulouse)
Pr. Antonio Iannaccone (Université de Neuchâtel)

Université de Neuchâtel
Faculté des Lettres et Sciences Humaines
Institut de Psychologie et Education

Université Toulouse 2-Le Mirail
Unité de Recherche Interdisciplinaire Octogone-ECCD (EA 4156)

Apprendre et raisonner : approche développementale et socio-cognitive du rôle des situations collectives et individuelles d'apprentissage

Thèse en co-tutelle
présentée à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Neuchâtel pour l'obtention du grade de docteur ès Sciences humaines et à l'Université de Toulouse 2-Le Mirail (France) pour le doctorat ès Psychologie

septembre 2011

par Romain Boissonnade

Jury :
Prof. M. Guidetti (Université de Toulouse), co-directrice
Prof. A.-N. Perret-Clermont (Université de Neuchâtel), co-directrice
Dr. V. Tartas (Université de Toulouse), tutrice
Prof. M. Cesar (Universidade de Lisboa)
Prof. A. Iannaccone (Université de Neuchâtel)
Prof. A. Weil-Barais (Université d'Angers)

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier Valérie Tartas, qui a été un guide formidable dans ma découverte de la recherche depuis le master jusqu'au doctorat, qui m'a accordé tant de temps pour réfléchir et m'a patiemment soutenu. Ma gratitude va également à Michèle Guidetti et Anne-Nelly Perret-Clermont, qui m'ont accueilli dans leurs équipes et m'ont fait part de leurs connaissances.

Parce que le travail à plusieurs permet de mieux se comprendre, je remercie les doctorantes de l'ECCD-OCTOGONE de Toulouse, qui m'ont aidé à garder un esprit positif dans l'aventure de la thèse : Audrey Barthélemy, Sandra Courrèges, Sören Frappart, Julie Hoskens, Angélique Laurent et Myriam Suarez Pardo. Il en va de même des doctorants et collaborateurs de l'Institut de Psychologie et Education de Neuchâtel qui m'ont reçu si agréablement et aidé à réaliser cette étude : Marie-France Allaz, Francesco Arcidiacono, Aleksander Baucal, Stéphanie Breux, Monica Del Percio, Ismael Ghodbane, Johann Gillioz, Alaric Kohler, Sophie Lambolez, Céline Miserez, Sheila Padiglia, Raffaella Rosciano. Une petite pensée va à Alexandra Bugnon qui connaissait bien mon travail et dont le sourire reste si présent.

Ce travail n'a été possible qu'avec la participation active de M. Dallet, inspecteur de l'Education Nationale, ainsi que des directeurs et professeurs des écoles M. Garcia et Mme Casemajor de l'école Le Crès (Millau), M. Maury de l'école Eugène Selles (Millau), Mme Trompeau de l'école Jules Ferry (Millau), M. Acquier de l'école des Lauriers Roses (Millau), Mme Hafizou de l'école Paul Bert (Millau), Mme Abriol de l'école Jean Moulin (Sévérac-le-Château), Mme Gwiss de l'école publique de Laissac (Laissac) et Mlle Constans de l'école publique de Lapanouse (Lapanouse-de-Sévérac). Surtout, je remercie sincèrement les enfants et leurs parents d'avoir eu un si vif intérêt pour la flottaison des objets et pour s'être préoccupés des raisons de cette recherche.

Merci à ma maman, mon papa et à mes grands-parents pour leur compréhension, leur confiance et leurs encouragements si précieux.

Je remercie particulièrement Nadège Foudon pour son aide dans la relecture et pour m'avoir aidé à y croire un peu plus.

Enfin, je n'oublie pas les nombreuses personnes et amis qui se sont interrogés sur le thème de cette thèse, entre autres Philippe Albertini, Tristan Audurier, Delphine Bessière, Paul Beuillet, Jean-François Collin, Benjamin Durand, Jean-Baptiste Durand, Nicolas Gout, Marie Juanchich, Guillaume Julien, Jessica Lipman et Christophe Praz, Bertrand Pailhas, Renaud Pascal, François Roullier, et tant d'autres qui m'ont fait la surprise de discuter longuement de cette recherche.

RÉSUMÉ

Résumé de la thèse

Apprendre et raisonner : approche développementale et socio-cognitive du rôle des situations collectives et individuelles d'apprentissage

Les recherches sur le développement des conceptions en physique mettent l'accent soit sur des processus intraindividuels, soit sur des processus situés dans les situations collectives. En revanche, les situations individuelles et leur intérêt dans la construction des idées restent mal définis. Une expérimentation pré-/post-test a permis de suivre 106 enfants de 10 ans qui prédisent, justifient et expliquent de manière générale le phénomène de flottaison des objets. L'entraînement leur propose d'utiliser des objets et des outils pour élaborer à trois reprises une explication du phénomène, sans feedback de l'adulte. Quatre conditions expérimentales sont comparées. Dans deux conditions, les enfants travaillent par trois fois soit individuellement, soit en dyade. Deux autres conditions articulent des situations solitaires et dyadique : dans une condition, ils s'entraînent en individuel puis en dyade puis en individuel ; dans une autre, ils s'entraînent en dyade puis en individuel puis en dyade. Les évolutions cognitives diffèrent selon les conditions. Le fait de travailler régulièrement en dyade favorise l'enrichissement des justifications particulières. Le fait de faire travailler les enfants ensemble enrichirait le répertoire argumentatif pour décrire la réaction des objets. L'entraînement individuel-dyadique-individuel favorise de meilleures prédictions. Cette articulation spécifique des situations amènerait une restructuration plus profonde des connaissances. Il y a donc des articulations de situations plus favorables selon les performances attendues. L'analyse des conduites pendant l'entraînement et les études de cas révèlent l'importance des contradictions rencontrées, dues à la fois à l'hétérogénéité des objets, aux interactions entre pairs et à la présence d'outils. Des pistes de recherche et d'application sont enfin proposées.

Mots-clé : travail collaboratif, conceptions, concepts, physique, situation individuelle, situation solitaire

Abstract of the thesis

Learning and reasoning : a developmental and socio-cognitive study on combining collective and individual situations

Research on how children conceptualize the principles of physics classically emphasizes intraindividual processes or collective situations. Individual situations and their consequences on the development of concepts are poorly defined. A pre-/post-test study was conducted in a school setting with 106 ten-year-old children. Children had to predict, justify and generally explain the phenomenon of buoyancy exhibited by objects immersed in water. During the training phases,

they were free to use objects and instruments to write a general explanation. This task was repeated three times, which enable us to compare four experimental conditions: (1) children who worked individually; (2) children who worked in close collaboration; (3) children who began working individually, then worked in a dyad, and then worked again individually; and (4) children who began working in dyads, then worked individually, and then worked again in dyads. Evolution of cognition differed. When they are trained regularly in dyads, children develop better justifications of their particular predictions. Working in dyads enriches their argumentative repertoire to describe objects' reactions. The individual-dyadic-individual training was the only experimental condition that led to progressively more accurate predictions. This specific combination may lead to a restructuration of cognitive processes. Each combination of social situation has a different effect on the childrens' ability to predict, justify and generally explain. During the training, general and specific analyses of the practices of the children helped us to propose a detailed interpretation: these analyses show that children are confronted with different contradictions depending not only on their interactions with peers, but also with heterogeneous objects and tools. Future research is proposed.

Keywords : collaborative learning, conceptions, concepts, physics, individual situation, solitary situation

Adresses des laboratoires / Laboratory adresses

France :

Laboratoire "Cognition, Communication et Développement" (Octogone-ECCD)
Pavillon de la Recherche
Université de Toulouse II - Le Mirail
5, allée Antonio Machado
31058 Toulouse Cedex 9
FRANCE

Suisse :

Institut de Psychologie et Education
Faculté des Lettres et Sciences Humaines
Université de Neuchâtel
Espace Louis Agassiz, 1
2000 Neuchâtel
SUISSE

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements **1**

Résumé **2**

Index des abbréviations et symboles **15**

Introduction **16**

Chapitre 1 – Le développement des conceptions physiques : perspective constructiviste et intraindividuelle **18**

1.1 – Un phénomène physique : la flottaison des objets 18

1.1.1 – Une courte histoire des idées autour de la flottaison des objets 18
1.1.2 – Quelques éléments d'épistémologie des sciences 20
1.1.3 – L'enfant et l'éducation face à la flottaison des corps 21

1.2 – Le constructivisme piagétien 22

1.2.1 – Projet du constructivisme piagétien 22
1.2.2 – Le développement piagétien de la compréhension du monde physique 23

1.3 – A propos des concepts et compétences précoces de l'enfant 25

1.3.1 – Compétences précoces et habiletés prédictives 25
1.3.2 – Le développement précoce des prédictions : l'étude de Kohn (1993) 26
1.3.3 – Le développement des concepts explicites et les compétences prédictives : l'étude de Halford, Brown et Thompson (1986) 28
1.3.4 – Une intégration des études récentes à la théorie piagétienne 30

1.4 – Le développement de la causalité physique et la flottaison des objets 32

1.4.1 – La causalité physique chez l'enfant (Piaget, 1927) 32
1.4.1.1 – Caractéristiques du développement des conceptions 32
1.4.1.2 – Stade 1, la recherche d'un déterminisme 34
1.4.1.3 – Stade 2, un réalisme grossier 34
1.4.1.4 – Stade 3, un début de relativisme 35
1.4.1.5 – Stade 4, l'articulation de concepts 36
1.4.2 – Comprendre la flottaison des liquides : l'étude de Piaget et Chatillon (1975) 37
1.4.3 – Conclusion sur l'étude piagétienne des conceptions sur la flottaison 38

1.5 – Le développement de concepts physiques : matière, masse, volume, densité 40

1.5.1 – Le développement des concepts physiques 41
1.5.2 – Le développement des quantités physiques (Piaget & Inhelder, 1941) 43

1.5.2.1 – Présentation de l'étude 43
1.5.2.2 – Le concept fondamental de la quantité de substance 44
1.5.2.3 – Les concepts de masse, volume et densité 45
1.5.2.4 – Autres concepts physiques importants : force et matériau 47
1.5.3 – Le rôle de l'expérience matérielle dans le développement des notions de densité et de volume : l'étude de Brainerd et Allen (1971) 48
1.5.4 – Le développement est spécifique : le courant « conceptual change » 50
1.5.5 – La différenciation de la masse et de la densité : l'étude de Smith, Carey et Wiser (1985) 52

Résumé du chapitre 1 55

Chapitre 2 – Le rôle des médiations matérielles, sociales et instrumentales dans l'acquisition des connaissances 57

2.1 – Vers la construction sociale des conceptions scientifiques 57

2.1.1 – Piaget avait presque raison… 57
2.1.2 – Introduction à l'approche sociohistorique de Vygotski 58
2.1.3 – Le cadre des activités de l'enfant 60

2.2 – Le rôle initial de la relation sujet-objet 61

2.2.1 – La place des artefacts dans la cognition 61
2.2.2 – L'expérience matérielle et les contradictions du réel 62
2.2.3 – L'élimination des contradictions et le développement de la pensée logique : Inhelder et Piaget (1955) 64
2.2.4 – Des possibilités de contradiction en situation collective et solitaire 65

2.3 – Les recherches sur les interactions entre pairs 66

2.3.1 – L'approche socio-cognitive de la cognition 66
2.3.2 – Plusieurs générations de recherches 67
2.3.3 – L'hétérogénéité de points de vue : l'étude de Howe, Tolmie et Rodgers (1990) 68
2.3.4 – Du dialogisme, du langage, et du rapport à l'objet 69
2.3.5 – L'objet soutient la décentration : l'étude de Tolmie, Howe, Macenzie et Greer (1993) 70
2.3.6 – Aspects critiques de la perspective socio-cognitive 71

2.4 – La médiation de l'outil dans la construction des conceptions 72

2.4.1 – Des processus culturels du développement cognitif 73
2.4.2 – Le choix d'outils représentationnels : les études de Smith, Snir et Grosslight (1992) et de Hardy, Schneider, Jonen, Möller et Stern (2005) 74
2.4.3 – La démarche hypothético-déductive : l'étude de Penner et Klahr (1996) 75
2.4.4 – L'activité d'écriture comme moyen d'autonomisation de la pensée 76
2.4.5 – Pratiques langagières et écriture : les études de Klein (2000) et Alcorta (2001) .. 77

Résumé du chapitre 2 79

Chapitre 3 – Les situations solitaires et collaboratives dans l'apprentissage de l'enfant..... 81

3.1 – Vers une psychologie des situations individuelles et collectives 81

3.1.1 – Prendre en compte les situations solitaires 81
3.1.2 – Une définition des situations solitaires 83
3.1.3 – Un choix d'approche théorique des situations solitaires..... 84
3.1.4 – A propos des conséquences des situations solitaires 85

3.2 – Parer aux effets négatifs de la collaboration (thèse 1) 87

3.2.1 – Les effets paradoxaux émotion-communication-cognition 87
3.2.2 – Des effets négatifs dus au fonctionnement collectif : l'étude de Tudge (1989) ... 87
3.2.3 – Le développement de conceptions scientifiques erronées : l'étude de Levin et Druyan (1993) 89
3.2.4 – Un effet de confiance exagérée : l'étude de Puncochar et Fox (2004) 90
3.2.5 – Compenser les effets négatifs du travail collaboratif par le travail solitaire..... 91

3.3 – Travailler seul ou à plusieurs : une adaptation nécessaire en fonction du niveau de développement de l'enfant et du cadre (thèse 2)..... 91

3.3.1 – Différences en fonction du développement de l'enfant 91
3.3.2 – Un travail solitaire peut être bénéfique en fonction du niveau de développement de l'enfant : l'étude de Murphy et Messer (2000)..... 92
3.3.3 – Difficulté de la tâche et feedbacks de la situation solitaire..... 93
3.3.4 – Le feedback de la tâche est plus bénéfique si l'enfant travaille seul : les études de Tudge et Winterhoff (1993) et Tudge, Winterhoff et Hogan (1996). 94
3.3.5 – La structuration sociale de la tâche 95
3.3.6 – L'exploration du contexte et l'appropriation individuelle 96

3.4 – La fonction du cycle solitaire-collaboratif (thèse 3) 97

3.4.1 – Types de tâche et traitement d'informations..... 97
3.4.2 – Du bénéfice des situations solitaires avant le travail collectif : l'étude de Leman et Oldham (2005) 97
3.4.3 – Un enchaînement temporel de situations permet de réguler 98
3.4.4 – L'élaboration de connaissance comme tâche créative 99
3.4.5 – Un cycle de situations solitaires et collaboratives favorise la création scientifique : l'étude d'Azmitia et Crowley (2001) 100
3.4.6 – Les fonctions différenciées du travail individuel : l'étude de Van Boxtel, Van der Linden et Kanselaar (2000) 101
3.4.7 – Questions problématiques 102

Résumé du chapitre 3 103

Chapitre 4 – Problématique 105

Chapitre 5 – Méthodologie 108

5.1 – Etude pilote et introduction à l'étude principale 108

5.1.1 – Méthodologie de l'étude pilote 109
5.1.2 – Résultats de l'étude pilote 111
5.1.3 – Remarques finales 112

5.2 – Participants 113

5.2.1 – Choix de la population 113
5.2.2 – Choix des participants 113

5.3 – Matériel 114

5.3.1 – Présentation des tâches utilisées 114
5.3.2 – Matériel de pré- et post-test 114
5.3.3 – Matériel de l'entraînement 115

5.4 – Procédure 116

5.4.1 – Avant l'expérimentation 116
5.4.2 – Procédure de pré- et post-test 117
5.4.3 – Procédure de composition des groupes de participants 118
5.4.4 – Procédure de l'entraînement 119
5.4.5 – Fin de l'expérimentation 121

5.5 – Variables, codage 122

5.5.1 – Les variables indépendantes et variables dépendantes 122
5.5.2 – Le codage des prédictions (score PR) 122
5.5.3 – Codage des justifications et des explications générales 123
5.5.4 – Première étape : décrire les justifications et explications en arguments 124
5.5.5 – Deuxième étape : l'évaluation des conceptions 126
5.5.6 – Analyse des conduites épistémiques 128

5.6 – Hypothèses 129

5.6.1 – Hypothèses de pré- à post-test 129
5.6.2 – Hypothèses durant l'entraînement 130
5.6.3 – Exploration des conduites épistémiques 130

Chapitre 6 – Construction de l'échelle d'évaluation des conceptions 131

6.1 – Comparaison avec la recherche de Howe et al. (2005) 131

6.1.1 – A propos des participants et des tâches 131

6.1.2 – Présentation de la grille d'analyse de Howe et al. (2005).....132
6.1.3 – Comparaison avec l'étude de Howe et al. (2005) des justifications de pré-test .132
6.1.4 – Comparaison avec Howe et al. (2005) de l'évolution des justifications.....133
6.1.5 – Des évolutions différentes 134

6.2 – Les raisons d'un désapprentissage ? Certains enfants atteignent une limite conceptuelle..134

6.2.1 – Des interprétations insuffisantes.....134
6.2.2 – Le niveau de développement initial 135

6.3 – Le développement conceptuel est différent avec une lecture piagétienne 138

6.3.1 – Reprendre le développement conceptuel selon Inhelder et Piaget (1955).....138
6.3.2 – Certains arguments problématiques.....139
6.3.3 – Une nouvelle échelle d'évaluation des conceptions 140
6.3.4 – Des résultats différents.....140
6.3.5 – Les enfants les plus faibles progressent. 142

6.4 – Illustration avec les justifications d'un enfant.....142

6.4.1 – Le choix aléatoire d'un profil contradictoire 143
6.4.2 – En pré-test 143
6.4.3 – En post-test différé.....143
6.4.4 – Un enfant qui développe des contradictions 144

6.5 – Une problématique entre développement et apprentissage 145

6.5.1 – Des précautions pour les futures analyses 145
6.5.2 – L'appropriation et la construction des connaissances.....146
6.5.3 – La composition des groupes expérimentaux.....147

Résumé du chapitre 6 148

Chapitre 7 – Les conséquences du travail solitaire et collectif de pré- à post-test 149

7.1 – L'évolution des prédictions des enfants 149

7.1.1 – L'évolution de la compétence de prédiction du groupe IDI de pré- à post-test..149
7.1.2 – Conclusion sur les prédictions des enfants (hypothèse H1).....151
7.1.3 – Certains types d'objets favorisent les prédictions ou posent des difficultés ?....152

7.2 – L'évolution des justifications des prédictions.....152

7.2.1 – L'évolution du nombre d'arguments dans les justifications (score FT) 153
7.2.2 – L'évolution conceptuelle des justifications (score CL) 155
7.2.3 – L'évolution du niveau modal des justifications.....157
7.2.4 – Les facteurs utilisés dans les justifications 158
7.2.5 – Conclusion sur les justifications des enfants (hypothèses H2 et H3) 160

7.3 – L'évolution des explications générales 161

7.3.1 – L'évolution du nombre de variables des explications générales (score FT_{exp}) ... 161
7.3.2 – L'évolution conceptuelle des explications générales (score Niv_{exp}) 162
7.3.3 – Les arguments utilisés dans les explications générales 164
7.3.4 – Conclusion sur l'évolution des explications générales (hypothèses H4 et H5) .. 165

7.4 – En conclusion : des évolutions contrastées 166

7.4.1 – Le nombre d'arguments et la qualité conceptuelle sont souvent liés 166
7.4.2 – Peu de liens entre les prédictions, les explications et les justifications 166

Résumé du chapitre 7 168

Chapitre 8 – Les performances durant l'entraînement 169

8.1 – L'évolution des prédictions durant l'entraînement 169

8.1.1 – L'évolution des prédictions durant l'entraînement (score PR) 169
8.1.2 – Les prédictions en situation individuelle et dyadique : la situation dyadique favorise de meilleures prédictions 172
8.1.3 – Les prédictions selon la succession des situations dyadiques et solitaires 172
8.1.4 – Y a-t-il dans le groupe IDI une correspondance entre l'évolution des prédictions de pré- à post-test et durant l'entraînement ? 173
8.1.5 – Conclusion sur les prédictions durant l'entraînement (hypothèse H6) 174

8.2 – L'évolution des explications générales durant l'entraînement 174

8.2.1 – L'évolution du nombre d'arguments des explications générales (score FT_{exp}) .. 174
8.2.2 – Le nombre facteurs explicatifs en situation individuelle et dyadique 177
8.2.3 – Le nombre de facteurs explicatifs selon que les groupes alternent ou non 177
8.2.4 – L'évolution du niveau conceptuel des explications (score Niv_{exp}) 177
8.2.5 – Les arguments utilisés dans les explications générales 180
8.2.6 – Conclusion sur les explications durant l'entraînement (hypothèses H7 et H8) .. 182

8.3 – Conclusion sur les performances durant l'entraînement selon l'articulation des situations 183

8.3.1 – Sur les performances prédictives durant l'entraînement 183
8.3.2 – Sur les performances explicatives durant l'entraînement 183

Résumé du chapitre 8 185

Chapitre 9 – Vers une analyse fine des activités durant l'entraînement 186

9.1 – Exploration des pratiques durant l'entraînement 186

9.1.1 – La manipulation des objets et des outils 186
9.1.2 – L'écriture de l'explication générale 188

9.1.3 – Conclusion sur les pratiques des enfants 190

9.2 – Analyse d'une dyade d'enfants du groupe DDD 191

9.2.1 – Des conceptions initialement contrastés 191
9.2.2 – Les performances d'Emi en pré-test 191
9.2.3 – Les performances de Lae en pré-test 192
9.2.4 – Les conduites de collaboration durant l'entraînement 192
9.2.5 – Premier temps d'entraînement (test1) 192
9.2.6 – Deuxième temps d'entraînement (test2) 194
9.2.7 – Troisième temps d'entraînement (test3) 195
9.2.8 – Les performances d'Emi en post-test immédiat et différé 197
9.2.9 – Les performances de Lae en post-test immédiat et différé 198
9.2.10 – Conclusion sur une dyade du groupe DDD 199

9.3 – Analyse d'une dyade d'enfants du groupe IDI 200

9.3.1 – Des conceptions distinctes en pré-test 200
9.3.2 – Les performances de Flo en pré-test 200
9.3.3 – Les performances de Noe en pré-test 201
9.3.4 – Les conduites d'une dyade alternante durant l'entraînement 201
9.3.5 – Premier temps d'entraînement (test1) 201
9.3.6 – Deuxième temps d'entraînement (test2) 203
9.3.7 – Troisième temps d'entraînement (test3) 204
9.3.8 – Les performances de Flo en post-test immédiat et différé 206
9.3.9 – Les performances de Noe en post-test immédiat et différé 206
9.3.10 – Conclusion sur une dyade du groupe IDI 207

9.4 – Perspectives à partir de deux études de cas 208

9.4.1 – L'évolution des conceptions des enfants 209
9.4.2 – Les conduites des participants durant l'entraînement 209
9.4.3 – La richesse des contradictions rencontrées par les enfants 210

Résumé du chapitre 9 213

Chapitre 10 – Discussion et conclusion 214

10.1 – Objectifs et vue d'ensemble des résultats 214

10.1.1 – Objectif de la recherche 214
10.1.2 – Résumé des résultats et des hypothèses par performance 214
10.1.3 – Les groupes contrôles 216
10.1.4 – Les groupes alternant le travail individuel et dyadique 217
10.1.5 – De la diversité à l'articulation des situations 218

10.2 - Effets immédiats et effets de transition des situations sociales 219

10.2.1 – Un premier niveau d'étude : la cognition en « situation »....219
10.2.2 – Effets immédiats de la situation solitaire....220
10.2.3 – Un second niveau d'étude : la cognition en « transition »....221
10.2.4 – De l'individuel au dyadique : un effet de préparation....222
10.2.5 – Du dyadique à l'individuel : un effet d'engagement dans l'activité matérielle 222

10.3 – Perspectives de recherche et réflexions éducatives....223

10.3.1 – Perspectives scientifiques....223
10.3.2 – Une autre perspective de recherche : l'interprétation des situations....224
10.3.3 – Réflexion pour l'éducation en contexte scolaire....225

BIBLIOGRAPHIE....227

ANNEXES

Annexe A – Caractéristiques de participants……..... I
Annexe B – Liste des objets concrets……..... IV
Annexe C – Liste des objets évoqués……..... V
Annexe D – Ordre des objets utilisés par école……... VI
Annexe E – Livrets de réponse de pré-test et post-tests…….……. VII
Annexe F – Feuilles de réponse de l'entraînement…….. XIV
Annexe G – Données des prédictions de pré- et post-test et de l'entraînement...…….. XVI
Annexe H – Données des justifications en pré- et post-test ……..……. XIX
Annexe I – Données des explications générales…….. XXII
Annexe J – Codage interjuge (calcul de kappa) ……. XXV
Annexe K – Feuille de codage des étapes d'entraînement ……. XXVI
Annexe L – Tableau des comportements observés durant l'entraînement ……. XXVII
Annexe M - Analyses statistiques du chapitre 6 ……. XXXI
Annexe N – Exemple de feuilles de réponse (Victor) …… XL
Annexe O - Analyses statistiques du chapitre 7 ……. LII
Annexe P - Analyses statistiques du chapitre 8 …….. LXIV
Annexe Q - Feuilles de réponse de Emi et Lae …….. LXXV
Annexe R – Feuilles de réponse de Flo et Noe ……... XCVII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Les stades de conception par l'enfant de la flottaison des bateaux 39
Tableau 2 – Les stades de conservation de la substance, de la masse et du volume 45
Tableau 3 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 1 56
Tableau 4 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 2 80
Tableau 5 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 3 104
Tableau 6 – Grille d'évaluation de Howe et al. (2005) et correspondance avec les catégories d'arguments recueillis 111
Tableau 7 – Gain (et écart-type) du nombre d'arguments (FT) et de la qualité conceptuelle (CL) des justifications de pré- à post-test dans l'étude pilote. 112
Tableau 8 – Composition des groupes expérimentaux 119
Tableau 9 – Récapitulatif des variables dépendantes de l'étude 122
Tableau 10 – Echelle de la qualité conceptuelle des explications et justifications 128
Tableau 11 – Moyenne (et écart-type) des scores FT, TR et CL en pré-test dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente 132
Tableau 12 – Gain moyen, pourcentage (et écart-type) de pré- à post-test immédiat des scores de justifications dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente 133
Tableau 13 – Gain moyen, pourcentage (et écart-type) de pré- à post-test différé des scores de justifications dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente 134
Tableau 14 - Score CL moyen (écart-type) en pré-test et évolution de ce score au cours des pré- et post-tests en fonction du niveau modal (échelle de Howe et al., 2005) 136
Tableau 15 – Score moyen (écart-type) en pré-test et évolution de ce score au cours des pré- et post-tests en fonction du niveau modal des enfants – Méthodologie d'Inhelder et Piaget (1955) 141
Tableau 16 – Nombre moyen (écart type) de prédictions correctes (PR) par groupe expérimental et en fonction du temps de pré- ou post-tests 150
Tableau 17 – Nombre d'enfants dont le score PR régresse, progresse ou stagne de pré-test à post-test en fonction du groupe 151
Tableau 18 – Nombre moyen (écart type) de facteurs utilisés dans les justifications (score FT) en fonction du groupe et du temps 154
Tableau 19 – Nombre (et pourcentage) d'élèves dont le score FT régresse, stagne ou régresse de pré- à post-test par groupe 155
Tableau 20 – Moyenne (écart type) du score conceptuel CL des justifications en pré- et post-tests selon le groupe expérimental. 156
Tableau 21 – Nombre d'élèves par niveau modal des justifications en fonction du groupe expérimental et du temps 158
Tableau 22 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « matière » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental 158
Tableau 23 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « contenu » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental 159
Tableau 24 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « masse » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental 160
Tableau 25 – Nombre moyen (écart type) de facteurs fournis dans les explications générales

(score FT_{exp}) selon le groupe expérimental en pré- et post-test 161
Tableau 26 – Nombre d'élèves par niveau conceptuel des explications générales en fonction du groupe expérimental et du temps 163
Tableau 27 – Type d'évolution et nombre d'élèves qui régressent, se maintiennent et progressent entre pré-test et post-test différé par groupe expérimental.....164
Tableau 29 – Nombre (écart type) de prédictions correctes (score PR) par groupe expérimental durant l'entraînement 169
Tableau 30 – Nombre (et pourcentage) d'élèves par groupe expérimental par type d'évolution des prédictions durant l'entraînement 171
Tableau 31 – Types d'évolution des élèves du groupe IDI en post-tests en fonction de leur évolution au test3 173
Tableau 32 – Nombre moyen (écart type) de facteurs cités dans les explications générales par groupe expérimental durant l'entraînement 175
Tableau 33 – Nombre d'élèves (pourcentage) par groupe expérimental par type d'évolution du score FT_{exp} durant l'entraînement 176
Tableau 34 – Nombre d'élèves par niveau conceptuel des explications générales (Niv_{exp}) en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement.....178
Tableau 35 – Niveau conceptuel des explications générales et nombre d'élèves qui régressent, se maintiennent et progressent de test1 à test3 par groupe expérimental.....179
Tableau 36 – Proportions moyenne (écart-type) d'explications générales contenant l'argument de la masse de l'objet en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement 181
Tableau 37 – Nombre moyen (écart-type) d'occurrences de manipulation des objets par groupe expérimental et par temps d'entraînement 187
Tableau 38 – Nombre moyen (écart-type) d'occurrences d'utilisation des quatre outils (balance, aquarium, pâte à modeler, récipient) par groupe expérimental et par temps d'entraînement187
Tableau 39 – Durée moyenne (et écart-type) de l'activité d'écriture de l'explication générale par groupe expérimental et par temps d'entraînement. 189
Tableau 40 – Récapitulatif des activités de la dyade Flo-Noe durant l'entraînement.....199
Tableau 41 – Récapitulatif des activités de la dyade Flo-Noe durant l'entraînement.....208
Tableau 42 – Récapitulatif des résultats par hypothèse 215
Tableau 43 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe III.....216
Tableau 44 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe DDD 217
Tableau 45 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe DID.....217
Tableau 46 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe IDI 218

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Les diverses perspectives théoriques basées sur l'approche vygotskienne 58
Figure 2 – Le prisme socioconstructiviste : trois types d'interactions socio-cognitives.....61
Figure 3 – Le prisme socioconstructiviste en fonction de la situation solitaire ou collective.....86
Figure 4 - Illustration du dispositif expérimental durant l'entraînement 117
Figure 5 – Groupes expérimentaux en fonction des temps d'entraînement solitaires/dyadiques 119
Figure 6 – Chronologie des activités requises en pré- et post-test et durant l'entraînement.....121
Figure 7 – Evolution du score CL de pré- à post-test en fonction du niveau modal (échelle de Howe et al., 2005) 137
Figure 8 – Evolution du score CL de pré- à post-test en fonction du niveau modal (échelle inspirée d'Inhelder et Piaget, 1955). 142
Figure 9 – Evolution en pourcentage du nombre de prédictions correctes par groupe expérimental et en fonction du temps de pré- ou post-tests 150
Figure 10 – Nombre d'élèves dont la justesse des prédictions régresse, stagne ou progresse de pré-test à post-test différé et par condition expérimentale 151
Figure 11 – Evolution du score FT en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental 154
Figure 12 – Evolution du score CL en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental...156
Figure 13 – Nombre d'utilisation moyenne du facteur matière dans les justifications en fonction du groupe expérimental de pré- et post-tests.....159
Figure 14 – Fréquence des principaux arguments dans les justifications en pré- et post-test.....160
Figure 15 – Evolution du score FT_{exp} en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental 162
Figure 16 – Proportion des principaux facteurs cités dans les explications générales en pré- et post-tests.....165
Figure 17 – Nombre moyen de prédictions correctes (score PR) par groupe expérimental durant les temps d'entraînement.....170
Figure 18 – Nombre d'élèves dont le score PR progresse, régresse ou stagne du début à la fin de l'entraînement par groupe expérimental.....171
Figure 19 – Evolution du nombre de facteurs cités dans les explications générales (score FT_{exp}) par groupe expérimental durant l'entraînement 175
Figure 20 – Nombre d'élèves par groupe expérimental qui régressent, stagnent ou progressent au score FT_{exp} durant l'entraînement 176
Figure 21 – Proportions d'explications générales contenant l'argument de la masse de l'objet en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement 181
Figure 22 – Durée moyenne de l'activité d'écriture de l'explication générale par groupe expérimental et par temps d'entraînement 189

INDEX DES ABBREVIATIONS ET SYMBOLES

DID : groupe expérimental ayant suivi un entraînement dyadique puis individuel puis dyadique

DDD : groupe expérimental ayant suivi un entraînement uniquement dyadique

FT : score indiquant le nombre de facteurs différents cités dans les justifications

FT_{exp} : score indiquant le nombre de facteurs différents cités dans les explications générales

CL : score indiquant le niveau conceptuel des meilleurs facteurs cités dans les justifications d'après la grille de codage

Niv_{exp} : score indiquant le niveau conceptuel du meilleur facteur cité dans l'explication générale d'après la grille de codage

IDI : groupe expérimental ayant suivi un entraînement individuel puis dyadique puis individuel

III : groupe expérimental ayant suivi un entraînement uniquement individuel

M : moyenne

SD : écart-type

test1, test2, test3 : étapes successives de l'entraînement

INTRODUCTION

Ouverture – L'enfant est placé au cœur d'un univers foisonnant d'interactions matérielles et sociales qui participent à son développement intellectuel. Peut-on croire qu'il soit seul par moment ? Même lorsqu'il n'interagit pas avec autrui, il reste au moins la possibilité de nombreuses interactions, et notamment avec le monde matériel. Nombre de penseurs ont présenté la solitude comme une situation propice à la pensée et à la création. Dans de nombreuses activités de la vie quotidienne, les individus pensent en l'absence d'autrui. La situation solitaire se pose donc comme une situation intéressante pour comprendre le fonctionnement cognitif dans des circonstances particulières. Sur le terrain pratique des apprentissages de l'enfant, que peut apporter une situation de travail solitaire à l'enfant et à l'élève ? Cette question est ici posée concernant l'élaboration par des enfants de connaissances en physique.

Un vide théorique initial – Plusieurs études de psychologie précisent comment favoriser l'apprentissage par les interactions sociales, notamment entre pairs. Ces recherches ont contribué à transformer le regard de l'éducation. Mais cela pose encore des difficultés importantes dans la pratique des enseignants et des adultes. Les enfants sont donc régulièrement confrontés à des exercices et des évaluations individuelles. Finalement la situation individuelle reste une situation standard à la fois dans l'éducation. C'est aussi le cas dans la majorité des recherches en psychologie. Paradoxalement, ces situations solitaires (ou individuelles) sont peu étudiées. Ainsi on connaît mal les conditions favorables pour que l'individu bénéficie d'un travail individuel. Plutôt que de comparer les situations individuelles et collectives, nous avons choisi de nous intéresser à l'enchaînement des situations traversées par les enfants. La question qui se pose est alors de déterminer quand faire travailler les enfants ensemble et quand les faire travailler solitairement, pour favoriser la genèse des connaissances. L'intérêt de cette problématique se situe à la fois au niveau pratique et fondamental : aider à penser l'évolution des connaissances de l'enfant dans une multitude de situations sociales successives, et interroger nos fondements conceptuels en psychologie.

Choix du cadre théorique – En psychologie du développement, deux fondateurs sont souvent présentés pour leurs visions contrastées du développement cognitif : l'approche constructiviste de Piaget se centre sur les processus internes à l'enfant, mais aussi à ces interactions avec le monde matériel ; l'approche historico-culturelle de Vygotski propose un ancrage social et culturel de ce développement, notamment en mettant l'accent sur le rôle des outils et des interactions avec autrui. Ces cadres théoriques sont souvent complémentaires. L'approche socio-cognitive établit un pont entre ces deux visions du développement cognitif. La construction de connaissances est sous-tendue par des processus d'interaction sociale qui donnent à l'enfant une nouvelle perception de la réalité physique. Cependant, elle ne néglige pas que le développement des connaissances se fait aussi par la rencontre entre l'individu et l'objet matériel. Dans cette perspective, ce sont surtout les situations collaboratives entre enfants qui sont analysées, du fait de la richesse des processus psychologiques qui s'y déroulent. Notamment, la rencontre voire la confrontation de cognitions différentes apparaît comme un facteur majeur de développement individuel. Le déroulement des expérimentations implique aussi des situations

individuelles, mais qui restent selon nous dans l'ombre. C'est donc au sein de cette approche socio-cognitive que cette recherche tente d'apporter des éléments de compréhension. Nous avons tenté de savoir si les situations solitaires et collectives peuvent mettre l'individu en prise à des perspectives différentes pour connaître le monde physique, en postulant qu'il pourrait être favorable à l'enfant de construire ses connaissances en travaillant par moment dans des situations de collaboration entre pairs, mais aussi par moment de manière individuelle. Le fait d'articuler des situations solitaires et collaboratives au fil du temps peut-il favoriser la construction de connaissances ? Quels enchaînements de situation sont plus propices à ce développement ? Sur le plan scientifique, cette question permet de mieux comprendre comment les dimensions individuelles et sociales peuvent se combiner différemment à chaque instant du fait d'une situation plus ou moins collective.

Annonce du plan – Les chapitres 1, 2 e 3 offrent une présentation détaillée de la problématique au regard des connaissances actuelles d'abord sur le développement de connaissances par l'enfant à propos d'un problème de physique, ensuite sur le rôle des objets, des pairs et des outils dans la définition des situations rencontrées par les enfants, et enfin sur la manière de comprendre l'articulation des situations individuelles et collectives. La problématique est synthétisée au chapitre 4. Le chapitre 5 présente une étude pilote et les modalités de l'étude principale de cette recherche. Il s'agit de suivre en contexte scolaire des dyades d'enfants de 10 ans au cours d'une expérimentation pré-/post-test, avec un entraînement différencié selon que les participants travaillent individuellement, ou bien en dyade, ou bien en alternant les situations solitaires et collectives. Le chapitre 6 présente les premières analyses des réponses des enfants, et montre des tendances différentes en fonction de l'échelle d'évaluation retenue. Cette réflexion a permis de construire une échelle d'évaluation de justifications et explications des enfants. Les chapitres 7 et 8 offrent une analyse générale détaillée de l'évolution des réponses des enfants. Le chapitre 9 donne un aperçu plus qualitatif de ces évolutions par l'analyse des conduites sur les objets et les outils pendant l'entraînement, et avec deux études de cas qui permettent de suivre l'évolution de dyades. Enfin le chapitre 10 propose une synthèse et une discussion des résultats obtenus, et ouvre la problématique vers d'autres études à mener.

CHAPITRE 1 – LE DEVELOPPEMENT DES CONCEPTIONS PHYSIQUES : PERSPECTIVE CONSTRUCTIVISTE ET INTRAINDIVIDUELLE

Dans ce chapitre, le développement cognitif individuel est présenté selon l'approche constructiviste piagétienne. Le présupposé sous-jacent est que l'enfant construit activement ses structures conceptuelles. La focalisation sur cet individu comme unité d'analyse serait à même de déterminer les compétences et difficultés rencontrées par l'enfant, et les adaptations conceptuelles considérées comme nécessaires. Nous évoquerons successivement :

- une courte épistémologie des idées sur le phénomène physique de flottaison,
- les points importants de la théorie piagétienne,
- l'évolution de compétences précoces de prédiction,
- le développement d'une causalité physique de la flottaison,
- l'évolution des concepts de l'enfant.

1.1 – Un phénomène physique : la flottaison des objets

Dans l'étude présente, des enfants doivent penser le phénomène physique de la flottaison des objets dans l'eau. Leur pensée peut-elle se rapprocher d'une conception scientifique ? Ce thème est devenu courant en psychologie du développement et dans l'éducation des sciences. Quelques précisions s'imposent sur la façon dont ce micro-domaine de la physique a interrogé des penseurs, pour mieux comprendre les enjeux que cette tâche mobilise.

1.1.1 – Une courte histoire des idées autour de la flottaison des objets

Plusieurs problèmes de flottaison – Le terme « tâche de flottaison » cache une multitude de problèmes psychologiques. Le problème posé est différent selon que la question est : Comment reconnaître un objet qui flotte et un objet qui coule ? Pourquoi un objet flotte ? Qu'est-ce qui le fait réagir ainsi ? Y a-t-il des raisons communes à la flottaison des objets ? Est-ce que les mêmes facteurs expliquent qu'un objet flotte et qu'un autre coule ? A quelle vitesse et à partir de quand l'objet aura coulé ?… Derrière l'apparence d'un unique phénomène se cachent de multiples difficultés. La compréhension de la notion de densité apporte une réponse experte à ces différents problèmes. Mis cette notion n'est pas issue d'un processus purement inductif. En effet, il y a peu de régularités visibles dans la nature. L'idée que *« les objets plus denses que l'eau tombent au fond est contredite par les aiguilles qui flottent et les insectes aquatiques »* (Chalmers, 1991, p.81).

Jusqu'à Archimède – L'origine de la navigation remonterait à plus de 100.000 ans (Strasser et al., 2010). Bien des mystères demeurent en revanche sur les explications que

l'homme pouvait avoir de la flottaison des objets dans l'eau. Le premier penseur connu du phénomène est l'ingénieur mathématicien grec, Archimède (287-212 avant JC). Deux récits illustrent la découverte d'Archimède. Selon le premier, Archimède prend un bain et se rend compte du déplacement d'eau que son corps provoque, ce qui lui fait prendre conscience du fait qu'un corps immergé déplace un certain volume d'eau. D'après le second récit, Archimède est mandaté pour déterminer si une couronne est bien en or massif. Il utilise une balance et un récipient rempli d'eau pour déterminer la masse puis le volume de l'objet et en déduire la densité spécifique, c'est-à-dire si l'objet dispose de la densité particulière de l'or. Aujourd'hui, une version condensée et retravaillée des travaux d'Archimède est classiquement retenue par les livres d'éducation à la physique : *« Tout corps plongé dans un liquide subit de celui-ci une force de bas en haut égale à la masse du volume d'eau déplacé »*. Ce principe est-il exactement celui qu'a construit ce penseur ? Et est-ce par la répétition de ses observations et expérimentations, qu'Archimède est parvenu à cette proposition ? Dans son traité mathématique « Des corps flottants », Archimède ne présente pas un principe, mais plusieurs principes spéculatifs, d'ordre géométrique et mathématique, basés sur des objets statiques (Heath, 1897). En effet, les principes d'Archimède supposent un univers idéal, dans lequel il est supposé que le liquide est continu et homogène, ne contient pas de mouvement, qu'il a un volume supérieur à l'objet et que l'objet est entièrement immergé. Il est peu probable que des expérimentations aient conduit le penseur à sa théorie plutôt que des déductions logiques (Chalmers, 1991, p.42). De plus, les concepts utilisés ont leur limite. La notion de force ne sera constituée que deux mille ans plus tard, et Archimède parle de « forme » au lieu de « volume », de « pression » au lieu de « masse » et d'objet « plus léger que l'eau » pour parler d'objet « moins dense que l'eau ». Enfin le théorème d'Archimède ne résout que certains problèmes relatifs à la flottaison.

Galilée et après – Durant plusieurs siècles, la physique d'Aristote prévaut sur celle d'Archimède. L'approche de Galilée vient à contre-courant compléter celle d'Archimède mais en transformant de nombreux concepts. Cette évolution ne survient pas de la volonté d'améliorer la théorie d'Archimède, mais de celle de continuer dans le sillon de Copernic à corriger la théorie et les catégories physiques héritées d'Aristote (les phénomènes physiques résulteraient des quatre éléments terrestres et d'un cinquième élément céleste). Galilée est conscient du fait que les astres obéissent aux mêmes lois et sont donc probablement faits d'une même matière. Il cherche donc de nouveaux concepts, avec l'idée de décrire des propriétés communes de la matière, quels que soient les éléments. En 1590, il avait déjà repris la théorie d'Archimède sur les corps flottants en montrant à l'aide d'une balance mécanique que la vitesse et la masse sont liées. Un peu plus tard, un débat philosophique sur la nature de la glace oppose les tenants de la théorie philosophique de la matière contre les tenants de la théorie mathématique : *« Yet again, it was Aristotle against Archimedes »* (Bonechi, 2008, p.43). Pour Galilée, la glace flotte parce qu'elle est plus légère que l'eau selon la théorie d'Archimède : la glace ne serait donc que de l'eau moins dense, et non de l'eau associée à du froid comme le soutiennent les aristotéliciens. Ceux-ci détiennent à l'époque la conception dominante en physique. Ils rétorquent ensuite que la flottaison est due à la forme, et prouvent cela du fait qu'un morceau d'ébène de forme sphérique coule tandis qu'un morceau de forme plate flotte (Chalmers, 1991). Galilée s'appuie largement sur les paradoxes de la théorie aristotélicienne pour la contredire (Palmieri, 2005) : par exemple selon cette conception, des objets de même matière mais de masses différentes devraient tomber à des vitesses différentes séparément, mais à une vitesse intermédiaire une fois assemblés. Galilée ne parvient cependant pas facilement à expliquer le phénomène par la « lourdeur » ou la « légèreté » des objets sans faire référence à des matériaux, ni à construire une échelle unique de la matière pour comparer les

objets sans tenir compte du matériau. Confronté aux limites de la théorie d'Archimède, il est alors obligé de faire des modifications conceptuelles : il distingue le fait de remonter à la surface de l'eau et le fait de rester à la surface ; il clarifie l'idée de masse spécifique ; il ajoute la notion de « moment », précurseur du concept de la force, puis celle d' « accélération » et de « gravité ». Galilée reformule alors la théorie d'Archimède pour un contenant fini de liquide et en termes d'équilibre, donc de manière plus dynamique : si la force de l'eau déplacée égale la force exercée par le liquide avant son immersion, alors il va être repoussé vers la surface et flotter. Ses propositions permettent d'affirmer qu'un liquide peut soulever un objet cent fois plus lourd, mais aussi de prédire à partir de quand un objet va flotter. C'est ainsi que la théorie d'Archimède n'a été modifiée qu'au 17ème siècle, avec l'appui d'une argumentation solide, de connaissances mathématiques poussées, et de nouveaux outils tels que la balance hydraulique.

1.1.2 – Quelques éléments d'épistémologie des sciences

A propos des concepts – Les concepts utilisés pour présenter le phénomène de flottaison ont radicalement changé. Même le concept de masse a nettement évolué au cours de l'histoire. Carey (1993) résume ainsi : durant la période antique et médiévale, la quantité de matière n'était pas pensée et la masse était considérée comme une propriété intensive des objets, comme la couleur ou l'odeur. De plus, la diversité des unités de mesures permettait de peser différemment les objets selon le lieu et la masse n'était pas considérée comme caractéristique de tout élément matériel. La mécanique classique a rassemblé l'idée de quantité de matière et de masse, celle-ci devenant une quantité extensive, mesurable, de celle-là. La mécanique quantique en a ensuite donné une forme quasiment dématérialisée en termes d'énergie. C'est pourquoi l'épistémologie des sciences, qui étudie l'évolution des pratiques et des résultats scientifiques, met l'accent sur le fait que la connaissance n'évolue pas par l'accumulation de résultats, mais plutôt par des processus de restructuration des connaissances préalables.

Trois perspectives de l'épistémologie des sciences – La *théorie des révolutions scientifiques* de Kuhn (1962) indique la présence de « paradigmes », c'est-à-dire de façons de se représenter le monde à une période donnée, par un ensemble particulier de données, de notions admises, et par des méthodes et outils acceptés. Un paradigme fédère alors une communauté scientifique. Ces paradigmes entretiennent des influences réciproques : ils peuvent être concurrents, se dominer ou être dominés. Certaines incohérences ou anomalies vont parfois provoquer une remise en cause brutale d'un paradigme. Il y a alors une « crise scientifique ». Après une telle crise, le paradigme qui succède doit pouvoir expliquer les incohérences en question, mais aussi les résultats obtenus avec le précédent paradigme. Deux approches expliquent comment survient une telle crise scientifique. Selon la *théorie de la réfutabilité* (Popper, 2008), la science est un domaine de pensée dont une caractéristique essentielle est sa réfutabilité : si ce qui est prédit par une théorie est contredit par une observation seulement, alors la théorie échoue à rendre compte du réel. Elle doit alors évoluer ou disparaître. Une connaissance sera donc dite scientifique si elle propose des explications mais aussi les moyens d'être rejetée par l'épreuve des faits. Sans cette possibilité d'être testée, la connaissance ne peut être que dogmatique. C'est pourquoi le scientifique doit annoncer les conditions permettant de reproduire une étude, et la critique scientifique participe de ce processus. Mais selon une autre conception, les scientifiques sont largement résistants à accepter la réfutation de leurs travaux. Selon la *théorie des programmes de recherche* de Lakatos (1994), les communautés scientifiques

sont constituées par un système idéologique central (concepts, notions…) protégé par un ensemble d'hypothèses pour justifier et prouver les connaissances, et un autre groupe d'hypothèses de ce qu'il ne faut pas utiliser, étudier ou faire. Ainsi, les éléments de réfutation, ne seront souvent pris en compte que pour modifier des éléments périphériques de la théorie, ou simplement rejetés. Cette approche pointe donc davantage la psychologie du scientifique. Enfin, les approches sociologiques et politiques de la construction des sciences indiquent que le rôle donné à l'expérimentation et aux moyens objectifs est souvent exagéré. Selon Latour (1993 ; 1996), même une expérimentation défaillante peut légitimer une théorie. Ainsi, Hertz réalise une expérience et indique que dans d'autres conditions matérielles, elle justifierait la théorie des ondes radio ; c'est seulement après l'acceptation de cette théorie que l'expérience sera validée (Atten & Pestre, 2002). La Science apparaît ici davantage comme une construction intellectuelle et sociale dont la validité est essentiellement liée à un système de croyances. Cette mise en scène n'empêche pas la science d'apporter des réponses pratiques pour résoudre nombre de problèmes, comme envoyer une fusée dans l'espace.

1.1.3 – L'enfant et l'éducation face à la flottaison des corps

De l'épistémologie de l'enfant – L'enfant découvre tôt des expériences aquatiques qui l'amènent à identifier et à jouer avec le phénomène de flottaison : bain, jeux d'eau, divers milieux aquatiques comme le bord de mer ou la piscine…. L'étude de la compréhension de ce phénomène permet d'appréhender comment l'enfant élabore des connaissances du monde matériel, à partir de connaissances précoces jusqu'à des formes très évoluées de pensée scientifique. C'est pourquoi il est un phénomène très étudié depuis les débuts de la psychologie du développement (Piaget, 1927 ; Wallon, 1945). De même que dans l'histoire des sciences, l'enfant ne progresse pas en recueillant simplement des faits matériels ou en induisant des idées peu à peu ajustées à la réalité. Il en va rarement ainsi : *« Le miracle empiriste ne se produit pas »* (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, p. 51). Cependant il ne faut pas conclure que les idées soient uniquement des constructions détachées de toute réalité. En effet, l'enfant construit aussi ses capacités d'appréhension de la réalité et ses connaissances physiques au contact du monde matériel. C'est pourquoi il développe de nombreuses conceptions premières à propos de la flottaison qui semblent erronées pour le regard d'un adulte : on parle alors de « conceptions naïves » (Carey, 1993 ; Piaget, 1927 ; Inhelder et Piaget, 1955 ; Thouin, 1985 ; Wilkening & Huber, 2004). Par exemple, de nombreux enfants, par expérience de la réalité en viennent à penser que la surface de l'objet qui touche l'eau explique la flottaison, un objet plat pouvant mieux flotter qu'un objet plus ramassé. L'eau peut faire flotter l'objet en fonction de sa quantité. L'objet peut couler s'il est assez coupant ou mince ou petit. Ou encore l'air s'avère suffisamment puissant, comme le prouve le vent, pour aider l'objet à repousser l'eau et se maintenir en surface. Les concepts de masse, de volume, de densité, de quantité de matière, de rigidité apparaissent tardivement au cours de l'enfance et sont longtemps confondus. Enfin, l'enfant est rarement confronté à un seul problème à la fois. Face aux phénomènes de flottaison, il peut être amené à devoir prédire si un objet va flotter ou non, à déterminer d'autres conséquences du contact avec l'eau, à distinguer des états différents de l'objet, ou encore à construire une compréhension stable d'un monde changeant. Pour l'enfant autour de 5 ans, l'état « flotte » n'existe jamais complètement puisque l'objet est à la fois en dessus et en dessous du niveau de l'eau. Enfin certains objets ont des réactions très différentes au contact de l'eau et certains peuvent couler ou flotter selon le moment. En somme, l'enfant peut se poser un grand nombre de questions sur le phénomène de flottaison.

L'éducation – Généralement, le phénomène de flottaison est prisé des enseignants d'école primaire pour faire découvrir aux enfants un phénomène physique complexe. Les élèves sont souvent amenés à distinguer deux catégories de réactions et à transformer une boule de pâte à modeler pour la faire flotter. On leur explique rarement le fonctionnement du phénomène à l'aide d'une théorie physique. Comprendre le phénomène en termes de forces et d'équilibre est généralement réservé à des étudiants âgés. Une première façon abordable pour les enfants de comprendre le phénomène est de les amener à sélectionner et associer des concepts de matière, masse, forme, volume et de découvrir la notion de densité (Snir, 1991). Pourtant, des études montrent les difficultés que les enfants rencontrent pour aborder ces notions, même à l'aide de l'adulte et des outils (Smith, Snir & Grosslight, 1992). Avant d'aborder la question des situations solitaires et dyadiques de travail, nous allons voir comment penser l'enfant en tant que constructeur autonome de connaissances.

1.2 – Le constructivisme piagétien

L'approche constructiviste trouve ses fondements dans l'œuvre de Jean Piaget. Les idées principales de cette approche sont ici résumées.

1.2.1 – Projet du constructivisme piagétien

Les présupposés piagétiens – L'épistémologie entretient des liens étroits avec la psychologie du développement dans la description des idées et des processus qui les produisent. C'est notamment le projet de l'épistémologie génétique de Piaget (Piaget, 1970 ; Piaget & Garcia, 1983). La pensée apparaît en mouvement, dans une continuité temporelle : *« La connaissance n'est jamais un état, mais un processus influencé par les étapes précédentes du développement »* (Piaget & Garcia, 1983, p.38). Piaget (1970) part de plusieurs postulats épistémologiques, pour fonder son approche du développement :
- 1 – Le monde matériel est extrêmement multiple, changeant et dynamique. Du fait de ses continuelles nouveautés, le monde matériel n'est jamais complètement saisissable : *« si la physique n'est pas achevée, ce qui va de soi, l'univers lui-même ne l'est pas davantage, ce que l'épistémologie oublie trop souvent : il se dégrade en partie, ce qui ne nous intéresse pas ici, mais il est également le siège de créations nouvelles »* (Piaget, 1970, p.110).
- 2 – Le fonctionnement de l'objet ne peut jamais qu'être approché par la pensée. La connaissance est donc en évolution continue.
- 3 – La connaissance élaborée ne procède pas par induction pure de l'objet vers le sujet, car même la perception de l'objet nécessite un fonctionnement psychologique préalable.
- 4 – Comme chaque étape du développement est construite par une étape préalable, on remonte ainsi jusqu'à un fonctionnement psychologique originel qui ne peut consister qu'en un fonctionnement psychologique basique, de nature prélogique.

Constructivisme et adaptation – Inspirée par la vision darwinienne de l'évolution et la vision kantienne des idées *a priori*, la théorie constructiviste de Piaget montre que le fonctionnement psychologique de l'individu n'est ni prédéterminé par la phylogenèse, ni

déterminé par ses expériences : c'est un assemblage original des deux thèses d'où émerge une pensée de plus en plus élaborée. Cette approche ne considère pas le développement comme intemporel, mais en relativisant chaque étape du développement par rapport à l'étape précédente, de sorte qu'à chaque instant, l'individu est limité par des contraintes et des possibilités spécifiques qu'offre sa compréhension temporaire de l'environnement. L'enfant intègre sa connaissance passée et les expériences nouvelles. La position constructiviste décrit donc le développement de la pensée partant des bases psychologiques les archaïques. Elle part du point de vue de l'enfant pour étudier comment il construit une compréhension de son univers tout autant que cet univers le construit. De ce fait, les interactions entre le sujet et l'objet (objet physique et objet de pensée) se modifient au cours du développement. C'est par exemple ce qui apparaît dans les travaux sur la conservation des quantités de matière. Si on déforme une boule de pâte à modeler en boudin ou en boule, le jeune enfant semble penser que la quantité de substance a changé, jusque vers 6-7 ans. (Piaget & Inhelder, 1941). La quantité de matière est pourtant la même lorsqu'on déforme l'objet. Mais ce que l'adulte tient pour une vérité empirique n'a au départ pas été si intuitif. Même d'après les études récentes, il faut à l'enfant un certain temps pour prendre en compte distinctement des propriétés physiques abstraites de l'objet comme le volume (Baillargeon, 2002). En développant ses connaissances, l'enfant construit sa réalité.

1.2.2 – Le développement piagétien de la compréhension du monde physique

Une progression vers la compréhension du monde physique – Piaget étudie à plusieurs reprises et avec diverses méthodes le développement des conceptions de l'enfant sur les phénomènes physiques. Pour lui, ces conceptions ne sont pas innées et mettent du temps à se mettre en place parce qu'elles sont un produit du développement. L'interaction entre des structures issues de l'objet et des structures internes du sujet, amène peu à peu l'enfant à comprendre le réel de manière causale. Les trois grandes étapes du développement (pensée sensori-motrice, pensée opératoire concrète, pensée opératoire formelle) marqueraient un développement universel de la pensée humaine.

L'égocentrisme de l'enfant – L'enfant doit en particulier s'affranchir d'un point de vue centré sur sa vie et sa propre perception de son univers matériel. En même temps que l'enfant apprend à se mouvoir et agir sur les choses, il découvre des liens de causalité à propos de l'environnement physique. Comme il peut agir sur l'environnement mais aussi être objet d'actions extérieures, l'enfant expérimente par lui-même des influences physiques que peut subir ou provoquer un autre objet. Les actions et réactions de l'enfant lui servent de modèle à la compréhension du monde. Par conséquent ce développement part d'un point de vue très personnel, dit égocentrique (Piaget, 1927, 1975). C'est le cas par exemple de l'idée de masse des objets. Cette idée est d'abord pensée par l'enfant en termes de lourdeur ou de légèreté, c'est-à-dire ce qu'il perçoit physiquement comme plus ou moins difficile à soulever ou résistant à sa propre force. A ce moment, il n'y a pas forcément pour lui de continuum entre lourdeur et légèreté : un objet peut avoir les deux attributs, étant par exemple lourd pour lui et léger pour l'adulte. Il lui faudra du temps pour comprendre que ces deux caractéristiques sont relatives à la personne, et qu'elles sont donc deux perceptions d'une propriété générale de l'objet : la masse. Chaque mode de pensée amène l'enfant face à des contradictions qui nécessitent une réélaboration des concepts. Le développement d'une causalité physique élaborée est donc en lien avec le processus de décentration générale par l'enfant qui va combiner ses schèmes et créer une structure

d'organisation du monde basée sur des principes pré-logiques puis logique (Inhelder & Piaget, 1955).

Des réussites précoces aux opérations – Le processus de construction cognitive se trouve d'abord dans l'action et la conduite de l'enfant. Pour Piaget, l'action de l'enfant n'est pas une simple conséquence du développement, mais aussi un moyen d'élaborer des connaissances. Partant d'un minimum de compétences et de schèmes fondamentaux, l'enfant agit et coordonne ses actions dans un environnement physique. Des études récentes montrent par exemple qu'il peut tenir compte de la masse et du volume des objets très précocement pour comprendre les mouvements des objets (Baillargeon, 2002 ; Kohn, 1993). Ces résultats sont prévus par la théorie piagétienne. Pour Piaget, l'enfant est capable de prendre en compte certaines notions intuitivement, c'est-à-dire dans ses pratiques, bien avant d'en avoir une conscience et une maîtrise intellectuelle. Par exemple, l'enfant du stade sensori-moteur apprend à tenir compte de la masse ou du volume des objets pour agir. Par exemple, il écarte plus ou moins la main pour saisir un objet de volume important. Cela ne signifie pas pour autant qu'il manipule mentalement les concepts de masse ou de volume. D'ailleurs, il échoue à penser des situations complexes où des aspects du réels évoluent en sens opposé : c'est le cas s'il doit comparer un objet gros et léger à un objet petit et lourd (Piaget & Inhelder, 1941). L'enfant dispose en effet de catégories du réel qui correspondent en partie seulement à celles de l'adulte. Ainsi, lorsqu'il semble réagir en fonction du volume de l'objet, l'enfant se sert d'une catégorie qui peut englober la masse et le volume dans un seul concept purement intuitif. C'est pourquoi le développement constructif de la causalité physique est marqué par le passage d'une conception syncrétique de l'objet, fait de multiples aspects que l'enfant ne sépare pas, à des causalités plus complexes et où l'objet lui apparaît structuré par divers aspects reliés. L'enfant passe de conceptions naïves ou non-conformes à la science, souvent dépendantes du réel, à des conceptions abstraites et articulées, conformes à l'évolution scientifique. D'autre part, pour Piaget (1929), ces opérations mentales, concrètes puis formelles, sont nécessaires parce qu'elles découlent d'une structure du réel : des *« lois d'organisation »*, dont rend compte la logique (p.159). La logique constitue donc le progrès intellectuel qui donne à l'individu d'importantes capacités d'abstraction et d'organisation des idées (structure des idées) qui rendent compte de principes de la réalité (structure de la réalité).

Les étapes communes de la pensée et la formation des notions – Selon Piaget, les conceptions progressent de manière globalement commune à tous. Il suppose que le processus de changement des idées est donc continu. Pourquoi l'équilibration des structures serait-elle la même pour tous et dessinerait-elle un unique chemin développemental, depuis les concepts spontanés de l'enfance jusqu'aux concepts élaborés et scientifiques ? Selon lui, il existe des lois physiques qui gouvernent ou structurent la réalité. Si le fonctionnement extérieur existe indépendamment de l'observateur, et qu'il y a un rapprochement entre la structure du sujet et la structure du monde physique, c'est que progressivement la structure du sujet s'est rapprochée de la structure extérieure : c'est *l'isomorphisme progressif* des structures. Comme l'environnement physique est constitué de propriétés universelles communes pour tous, l'ajustement isomorphique des structures nous conduit tous vers la compréhension des mêmes règles de fonctionnement de la réalité. Cela définit un *sujet épistémique*, c'est-à-dire un prototype universel de l'évolution psychologique de la pensée humaine. Ceci explique que les idées peuvent converger entre les individus ou entre des sociétés éloignées. Si Piaget ne parle pas de situation individuelle ou d'individus isolés, sa théorie semble donner à l'enfant en situation isolée les moyens de développer des structures cognitives communes.

Piaget et la flottaison des objets – L'œuvre de Piaget montre au moins trois aspects sur lesquels l'enfant évolue : le développement de la causalité, le développement de concepts et enfin la prise en compte des contradictions du réel dans une construction des idées. Ces trois évolutions cognitives de la pensée scientifique de l'enfant, se retrouvent sur le thème de la flottaison des objets. Il a été largement traité dans trois ouvrages majeurs. Dans « *Le développement de la causalité physique chez l'enfant* » (Piaget, 1927), Piaget explore les conceptions causalistes de l'enfant sur le phénomène. Puis, il étudie les concepts de physique en tant qu'éléments des explications, tels que la matière, la masse, le volume ou la densité et plus particulièrement au « *développement des quantités physiques chez l'enfant* » (Piaget & Inhelder, 1941).

1.3 – A propos des concepts et compétences précoces de l'enfant

Partant de l'idée que l'enfant change continuellement son fonctionnement psychologique pour penser le monde physique, on est obligé de stipuler un certain nombre de compétences précoces, innées ou acquises extrêmement tôt. Nombre de connaissances physiques sont effectivement élaborées dès les premiers mois (Baillargeon, 2002 ; Lécuyer, 2004). Parmi elles, il y a une évolution précoce des prédictions, comme la prédiction de la flottaison des objets.

1.3.1 – Compétences précoces et habiletés prédictives

Compétences implicites et concepts intuitifs – Certaines connaissances sont implicites et d'autres sont plus explicites. En effet, des interactions précoces avec l'environnement matériel permettent de stabiliser rapidement une forme concrète et pratique de connaissance, mais qui reste difficile à manipuler mentalement pour l'individu. Par analogie, chacun peut tout à fait discriminer deux couleurs bleues sans pour autant leur donner des noms différents. C'est aussi le cas de la prédiction des phénomènes physiques : on peut prédire assez bien certains évènements en physique sans pour autant en avoir l'explication. Comme ces prédictions sont nécessairement basées sur un état de connaissance, il s'agit d'étudier si cette connaissance est proche de celle de l'enfant plus grand et du scientifique. Si dans ses prédictions un individu distingue implicitement des objets de la même manière que le scientifique armé de ses concepts, alors il semble disposer de concepts intuitifs similaires, du moins en apparence. Par exemple, on suppose que l'enfant qui discrimine implicitement des objets en fonction de leur volume, indépendamment de toute explicitation, a développé une forme de connaissance proche de la notion scientifique de volume. Très tôt, l'enfant est capable de faire preuve de telles connaissances intuitives dans sa vie quotidienne (par ex. Baillargeon, 2002). C'est le cas de la prédiction de la flottaison d'objets au cours du développement (Kohn, 1993). Ces connaissances précoces constitueraient une des bases sur lesquelles l'enfant construit les connaissances scientifiques. Les questions posées sur ces compétences implicites précoces sont : A partir de quand l'enfant peut-il commencer à prédire correctement la flottaison des objets ? S'appuie-t-il véritablement sur les concepts manipulés par l'expérimentateur ? Ces compétences ont-elles un impact sur les concepts ultérieurs ?

Deux méthodologies limitées – Pour mieux comprendre le développement de l'habileté prédictive, il faut amener des enfants à faire des prédictions sur la flottabilité de divers objets et à

mesurer la justesse des prédictions : ils pointent, montrent ou disent si l'objet flotte ou coule. Deux méthodologies sont possibles. Dans la première, inspirée de Piaget (1927), l'enfant est confronté à des objets du quotidien, tels qu'un peigne ou une bouteille. Dans cet ensemble d'objets hétérogènes, divers aspects matériels peuvent être choisis comme cause du phénomène : sa forme, sa masse, sa couleur, son usage, etc… Il est donc difficile d'inférer sur quelles propriétés s'appuie l'enfant sans le lui demander. Dans la seconde méthodologie, plus inspirée des études de Piaget & Inhelder (1941), l'enfant est confronté à des objets créés pour l'expérimentation, où l'on fait varier un petit nombre de facteurs systématiquement. Cela permet de savoir si l'enfant agit en fonction de ces paramètres précis de l'environnement. Cependant ici, il est difficile de savoir si ces paramètres ne sont pas en réalité amalgamés dans l'esprit de l'enfant avec d'autres facteurs que l'on n'étudie pas, ou si l'enfant ne conçoit pas de manière tout à fait personnelle les variations de l'objet présenté. On ne peut donc toujours pas être certain que l'enfant se base sur certains concepts en particulier : il peut y avoir des covariations de facteurs physiques, si bien qu'on pensera que l'enfant se base sur le volume alors qu'en fait il se base sur une autre propriété de l'objet. D'autre part, on s'éloigne aussi de l'étude « écologique » du développement de la pensée. En revanche, l'étude des prédictions de l'enfant permet de comprendre une performance cognitive particulière sans pour autant solliciter de verbalisation.

1.3.2 – Le développement précoce des prédictions : l'étude de Kohn (1993)

Objectif – Kohn (1993) propose que des enfants disposent très tôt, entre 3 et 5 ans, du concept de densité, qu'ils pourraient mobiliser pour penser le monde. Dans cette étude, les enfants doivent dire si l'objet flotte ou coule, sans expliquer davantage.

Méthodologie – Des adultes et des enfants de 3 et 4-5 ans, qui connaissent les termes « flotte » et « coule », doivent prédire la flottaison d'objets. Il s'agit de cubes de bois et de métal, suffisamment petits pour être saisis par les jeunes participants, qui leur sont confiés en main dans un ordre aléatoire et de manière répétée. Ces items non familiers ont été conçus pour l'expérimentation, en faisant varier de manière systématique le volume, la masse ou la densité, et de manière non-systématique la matière. Ce matériel composé d'objets nouveaux pour l'enfant, et non d'objets familiers, permet de contrôler que les réponses ne sont pas un simple souvenir d'expériences passées, mais sont issues d'un raisonnement appliqué. L'adulte demande de dire si l'objet flotte ou coule (32 prédictions pour les enfants, 72 pour les adultes). Ce design expérimental rend compte de la capacité des enfants à s'appuyer sur certaines propriétés de l'objet (masse, volume, densité et matière) pour prédire la flottaison des objets. Les résultats indiquent donc la qualité prédictive des enfants, mais aussi sur quelles propriétés physiques les prédictions semblent s'appuyer.

A propos de la densité des objets – Globalement dès 4-5 ans, les enfants confrontés aux objets les plus denses ou aux objets les moins denses, font plus de 80% de prédictions correctes. Au contraire avec des densités proches de celle de l'eau, ils font des prédictions moins correctes : environ 65% de prédictions correctes mais seulement à partir de 4-5 ans et pour les adultes. Il y a donc un effet de contraste : la flottaison d'un objet serait difficile à prévoir si sa densité ne contraste pas fortement avec celle de l'eau. Cependant, ce constat est à nuancer. Pour les objets qui coulent, l'effet de contraste apparaît plus tard dans le développement : face à des objets qui coulent avec une densité légèrement supérieure à l'eau, les adultes ont une meilleure performance

(90% de prédictions correctes) que les enfants de 3 et de 4-5 ans (environ 60%). L'effet de la densité diffère donc pour les objets qui flottent et ceux qui coulent. De plus, avec des objets les plus denses, qui coulent, les prédictions sont meilleures chez les 4-5 ans et les adultes, mais les enfants de 3 ans ne prédisent toujours pas correctement (environ 48%). Etrangement, ces enfants de 3 ans semblent même mieux prédire des objets qui coulent lorsqu'ils ont une densité proche de l'eau. Selon nous, deux explications sont possibles : la densité de l'objet n'impacte pas directement le taux de prédiction correcte, ou bien a un effet inverse à cet âge-là ; ou bien, d'autres variables physiques ou psychologiques empêchent l'enfant de 3 ans de baser ses prévisions sur la densité. En somme la prise en compte de la densité pour faire des prédictions s'élabore au cours du développement et peut même être mal employée à un âge précoce.

Les prédictions, la masse et la densité – L'évolution des prédictions repose à la fois sur la densité et sur la masse des objets. Les objets qui coulent ayant une densité proche de celle de l'eau sont plus ou moins bien prédits en fonction de leur masse. Pour les 4-5 ans comme pour les adultes, les objets qui ont une densité légèrement supérieure à l'eau sont plus difficiles à prédire s'ils ont en plus une masse faible ; à l'opposé si ces objets flottent avec une densité légèrement inférieure à l'eau mais une masse importante, là aussi les prédictions sont faibles. Jusqu'ici, rien que de très attendu : la masse est une propriété qui concurrence psychologiquement celle de la densité, surtout si cet aspect est difficile à différencier par rapport à l'eau. Mais à nouveau, ce schéma n'est pas valable pour les plus jeunes enfants. Pour Kohn, ces enfants ne se basent sur aucune propriété de l'objet (densité, masse, volume, matière). Les résultats indiqueraient même une tendance inverse chez les plus jeunes : les objets très denses seraient mieux prédits si leur masse est faible plutôt que forte et les objets peu denses seraient mieux prédits lorsque la masse est forte plutôt que faible. Il semble que ces jeunes enfants pensent implicitement que les objets lourds flottent et les légers coulent. Cette tendance à utiliser la masse de manière opposée a déjà été repérée un peu plus tard dans le développement avec des concepts explicites : à 4-5 ans, les enfants semblent mobiliser implicitement un concept de masse appliqué de manière correcte, alors que d'après d'autres travaux, ces enfants expliquent encore verbalement que les objets flottent du fait de la lourdeur et coulent du fait de leur légèreté (Piaget, 1927 ; Inhelder & Piaget, 1955 ; Piaget & Chatillon, 1975).

Les catégories précoces restent mal connues – Au cours du développement de l'enfant, une nette amélioration des prédictions de la flottaison des objets a lieu, et ceci dès 4-5 ans (Kohn, 1993). Ceci s'affine ensuite lentement avec le passage vers l'âge adulte. Kohn fait référence aux modèles développementaux de Karmiloff-Smith (1992) ou de Spelke (1990) selon lesquels l'enfant disposerait de capacités innées à appréhender des variables environnementales, mais qui doivent encore être utilisées de manière adéquate en fonction des situations. Pourtant les résultats ne vont pas dans le sens d'une habileté préalable avant 3 ans et suggèrent même d'après nous des contraintes opposées à l'élaboration d'un raisonnement correct. Cette recherche ne prend pas en compte la possibilité que l'enfant raisonne avec d'autres variables que celles qui sont ici contrôlées, et qui sont justement celles présentées par la physique comme déterminantes. La méthodologie n'évalue que la prise en compte des variables physiques qu'utiliserait une pensée scientifique mature ou la science physique. Le matériel est systématiquement construit autour de ces variables quand bien même l'enfant ne les emploierait en fait jamais ou du moins pas ainsi au quotidien. On ignore donc si l'enfant se base sur d'autres aspects de la réalité.

L'implication du langage – Kohn (1993) a le mérite d'être précautionneuse dans l'interprétation de ses résultats et explique les zones d'ombres créées par la méthodologie. Par exemple, la tâche apparemment concrète consiste à répondre verbalement, en disant « oui », « non », « flotte » ou « coule », à une consigne verbale de l'adulte. Cela soulève des doutes sur la capacité des enfants de 3 ans à comprendre la tâche et à utiliser le langage de manière similaire aux enfants de 4-5 ans ou aux adultes. Malgré ces précautions, la méthodologie suppose que le développement commence par des connaissances implicites, de nature sensori-motrice, qui seraient améliorées par apprentissage expérientiel. L'auteur dit bien que l'objectif est de prouver que les enfants dès 3 ans ont des « connaissances implicites de la densité » qui s'appuient soit sur des connaissances innées, soit sur des connaissances construites avec les premières expériences motrices et perceptives dans l'environnement physique. Sans doute peut-on exclure qu'un raisonnement scientifique opère à un âge aussi jeune à partir de concepts qui apparaissent tard dans le développement (Piaget & Inhelder, 1941). Il n'est cependant pas exclu qu'un processus conceptuel soit déjà en cours, car le langage fait des progrès importants entre 3 et 4-5 ans. Surtout, l'étude montre une minime différence de performance à prédire entre 4-5 ans et l'âge adulte, mais elle n'indique pas si ces performances sont soutenues par les mêmes capacités. La performance de l'adulte peut être fondée sur des capacités conceptuelles différentes, notamment grâce à une expérience langagière accrue. Le langage gagne en extension dans son rôle sur les processus cognitifs : l'adulte peut utiliser le langage comme moyen de résoudre des problèmes alors que le jeune enfant l'utilise essentiellement pour communiquer (Bruner, 1983 ; Nelson, 1989). Les prédictions des enfants de 4-5 ans peuvent approcher la précision des adultes sans pour autant être basées sur les mêmes capacités cognitives.

1.3.3 – Le développement des concepts explicites et les compétences prédictives : l'étude de Halford, Brown et Thompson (1986)

Objectif – Grâce aux innovations techniques et méthodologiques, l'étude de Kohn montre que l'enfant dispose tôt de compétences que Piaget attribue à des périodes plus tardives du développement, en particulier une compréhension intuitive de la densité qui se met en place dès 4-5 ans, dans des circonstances relativement artificielles. Cependant, l'enfant plus jeune en semble dépourvu. Il y a donc eu apprentissage ou maturation. La question est de savoir si l'enfant pour comprendre la densité intègre les concepts de masse et de volume. L'approche *information processing* (Leoni & Mullet, 1991) permet d'étudier comment l'enfant combine des idées distinctes, de manière à faire émerger des notions. A partir de quand la notion intuitive de densité pourrait-elle être pensée en tant que coordination des concepts quantitatifs de masse et de volume ?

Méthodologie – Halford, Brown et Thompson (1986) ont mené une étude auprès de 14 enfants de 7-9 ans et de 16 enfants de 11-14 ans, auxquels ils confient des cubes dont on contrôle de manière systématique la masse et les dimensions spatiales (hauteur, longueur et largeur). Sur ces objets, des chiffres indiquent la masse et des lignes colorées divisent l'objet en unités. L'enfant peut s'appuyer sur ces indices pour estimer visuellement le volume et la masse de l'objet. Deux tâches sont prévues. La tâche de jugement de volume implique d'estimer quel niveau sera atteint par l'eau dans un récipient gradué si on déverse le contenu d'un des 27 cubes de volumes différents. La tâche de jugement de flottaison des objets implique d'estimer si 15 cubes successifs vont flotter ou couler, en les comparant à un cube de référence qui flotte ; ces

objets diffèrent par l'une des trois dimensions du volume, par la masse, ou par l'ensemble de ces variables. Dans les deux tâches, les enfants ne réalisent aucune manipulation, ne reçoivent aucun feedback et doivent seulement mentaliser. L'organisation des variables permet de déterminer si les enfants se basent sur certaines caractéristiques ou sur une coordination de caractéristiques pour estimer la flottaison. En fonction des réponses, on détermine si l'enfant accorde de l'importance à la masse, la longueur, la largeur ou la hauteur de l'objet, ou à la coordination par deux, par trois ou par quatre de ces facteurs. L'enfant est diagnostiqué comme utilisant une de ces règles s'il l'utilise dans 80% des cas présentés. La méthodologie permet d'aborder le développement des conceptions, même si le niveau langagier et métacognitif ne leur permet pas de décrire leurs conceptions. Au contraire, on infère les conceptions qui guident leur raisonnement. Après une première passation sur les deux tâches (étude 1), les enfants sont entraînés avec la tâche de jugement de flottaison à faire des prédictions mais aussi à vérifier les réactions des objets et à essayer de l'expliquer verbalement. Deux évaluations individuelles ou post-tests sont prévues peu après (étude 2).

Les enfants et adolescents ont des difficultés à conceptualiser la densité en termes de coordination masse-volume (étude 1) – La tâche de jugement de volume montre que la plupart des enfants de 7-9 ou de 11-14 ans sont capables d'intégrer les trois dimensions spatiales pour appréhender le volume des cubes. Ils seraient donc capables de penser tôt et de manière articulée le volume des objets, bien que leurs réponses soient implicites. En revanche, dans la tâche de flottaison, ils tiennent peu compte de la coordination des facteurs et sont largement influencés par la masse de l'objet. Ce résultat éclaire donc l'étude de Kohn (1993) : malgré un contexte objectif façonné pour renforcer la mise en évidence visuelle de ces paramètres, ces enfants plus âgés ne parviennent pas à combiner les facteurs masse et volume pour juger la flottaison des objets, sans les manipuler. Ils ne peuvent donc pas composer la variable densité au sens formel du terme. Il faut voir que le contexte met l'accent sur les notions de masse et de volume, ce qui explique peut-être leur orientation sur ces notions. Ceci n'empêche peut-être pas les enfants de se baser sur une notion implicite de la densité par moment. Surtout, l'action physique requise des jeunes enfants de l'étude de Kohn (1993) a pu être prépondérante dans les performances, ce qui va dans le sens de la théorie piagétienne : les enfants développent tôt une préconception de la densité basée sur l'action et la perception que l'enfant exerce sur l'objet. La densité est d'abord vécue physiquement. Selon Halford et al. (1986), même tard dans l'enfance, les enfants ne se réfèrent pas à une notion de la densité qui combinerait implicitement masse et volume.

Les plus âgés apprennent à composer la notion de densité (étude 2) – En pré-test (étude 1), près de la moitié des plus jeunes utilisaient la notion de masse, et l'autre moitié des règles coordonnant la masse et une ou deux dimensions du volume ; après l'entraînement, les deux groupes d'âge se distinguent dans leurs conceptualisations. Les deux tiers des enfants n'indiquent plus de règle stable, et les autres utilisent des règles très simples. Les 7-9 ans reconnaissent donc que leur règle initiale basée sur la masse était erronée sans pouvoir la remplacer. En pré-test, deux tiers des 11-14 ans utilisaient uniquement la notion de masse, et un tiers n'utilisait pas de règle stable ; après l'entraînement, deux tiers d'entre eux utilisent une règle articulant les trois dimensions spatiales et la masse des objets, les autres n'utilisant pas de règle stable. Les 11-14 ans reconnaissent donc eux aussi l'erreur à distinguer les objets par la masse seule, mais développent, implicitement, une articulation correcte des concepts de volume (longueur, largeur, hauteur) et de masse.

Le développement parallèle d'un concept implicite mais articulé de la densité – En conclusion, lorsque l'adolescent peut à la fois agir et discuter à propos de l'objet, il développe un concept articulé de la densité. Pour autant, a-t-il transformé sa compréhension de la densité ? Ces enfants n'ont peut-être pas perdu pour autant le concept implicite et précoce de la densité décrit par Kohn (1993) : selon les situations, ils sont alors en mesure d'utiliser un concept implicite de la densité, comme la masse spécifique à la matière, sans spontanément coordonner les dimensions spatiales et pondérale ; en revanche, à l'adolescence, ils peuvent aussi développer une conception coordonnée. Il n'y a pas seulement passage d'une conception implicite à explicite, mais développement d'une conception explicite à côté d'une conception implicite. C'est pourquoi dans les deux groupes d'âges, la notion implicite de masse interfère dans leurs jugements en pré-test ; de plus, ils arrivent tous soit en pré-test soit en post-test à une période instable de conceptualisation, sans règle durable de composition, ce qui indique une oscillation entre des jugements basés sur des concepts implicites et des jugements où s'imposent davantage des concepts explicites.

Limites de l'étude – L'étude de Halford et al. (1986) ne donne pas d'indication précise sur la justesse des prédictions, bien qu'elles soient majoritairement correctes à cet âge (Kohn, 1993). Le fait de parler de règle de raisonnement, que l'enfant utiliserait pour réguler ses prédictions, est une supposition lourde : en effet, un comportement peut se reproduire sans pour autant être contraint par une même règle de conduite. Une autre critique vient du fait que les adolescents parviennent à coordonner le volume et la masse mais on ne sait pas s'ils pensent alors la densité comme une variable émergente, à part entière, c'est-à-dire comme un véritable concept. Enfin, les chercheurs considèrent que si l'enfant modifie son raisonnement lorsqu'on modifie une des variables de l'objet, c'est qu'il a une connaissance de cette variable. Or cela ne signifie pas pour autant qu'il reconnaît cette variable de manière similaire à l'expérimentateur, mais simplement qu'il a perçu du changement. Alors l'enfant a-t-il une connaissance identique à l'adulte ? S'appuie-t-il sur des aspects de l'environnement que l'adulte ne contrôle pas ?

1.3.4 – Une intégration des études récentes à la théorie piagétienne

De nouvelles questions – La qualité des prédictions progresse dans le développement dès 4-5 ans (Kohn, 1993). En variant systématiquement les facteurs physiques sur lesquels repose la flottaison, on découvre que l'esprit en développement se base tôt sur certaines catégories physiques comme l'espace ou la substance pour estimer la flottabilité. Pour Kohn (1993), les enfants dès 4-5 ans discriminent implicitement des objets en fonction de leur densité. Selon Halford et al. (1986), la masse des objets continue d'interférer avec la notion de densité entre 7 et 14 ans ; mais dès 11-14 ans, dans des situations particulières, les adolescents peuvent combiner implicitement la masse et le volume, et appréhender rationnellement la densité des objets. Plus récemment, Ebersbach (2009) utilisant une méthodologie proche confirme ce résultat. Ces études constituent un prolongement important pour l'étude des compétences prédictives et des conceptions des enfants. Dans ces études, les enfants montrent des capacités précoces, censées remettre en cause la théorie piagétienne, notamment dans la mise en place de concepts plus tôt que ne le supposent les études piagétiennes. Il est pourtant difficile de parler de concept. Ici, les connaissances sont largement implicites au départ, c'est-à-dire qu'elles sont inférées par l'expérimentateur qui n'y a jamais véritablement accès (Nagel, 1974). Selon Halford et al. (1986), le volume est pensé plus tôt que ne le pense Piaget. Cependant Piaget parle de concepts

spatiaux qui sont suffisamment maîtrisés par des opérations concrètes pour réaliser des activités complexes, comme les épreuves de conservation (Piaget et Inhelder, 1941). Halford et al. (1986) parlent d'un concept qui articule plusieurs dimensions certes, mais de manière implicite et peu opératoire. Plusieurs questions développementales émergent. Quelles structures cognitives sont alors nécessaires pour prédire la flottaison ? Quelles structures peuvent découler des prédictions ? Comment articuler dans le temps des concepts implicites et des concepts explicites ? Le concept est-il pensé globalement avant d'être reconstruit par une articulation d'autres concepts ?

Le rôle précoce des fonctions – Des travaux récents ont précisé par exemple que la causalité perceptive, qui concerne des éléments et évènements concrets commence très précocement (Lécuyer, 2004) ou que des enfants, dès trois à six mois, peuvent établir des liens de causalité entre des évènements contigus (Koslowski & Masnick, 2002). Un apprentissage de type associatif se met rapidement en place, du fait des premières interactions de l'enfant et de l'environnement physique. L'enfant découvre ainsi rapidement des régularités relativement simples du monde. Par exemple, il saisit qu'un objet ne peut pas contenir un autre objet plus gros que lui (Baillargeon, 2002) ou que « plus long » signifie « qui dépasse » (Piaget & Inhelder, 1941). Ce raisonnement causaliste primaire commence avec les premières années de vie où la perception et l'action physique sur l'environnement sont essentielles dans le développement cognitif. Piaget, Grize, Szeminska et Vinh Bang (1968) et Piaget et Garcia (1971) avaient déjà remarqué la tendance infantile à établir de façon de moins en moins aléatoire des liaisons causales entre des éléments perceptibles externes, proches dans l'espace et dans le temps, ce qu'ils nomment des *fonctions*. Les fonctions, sont issues de la capacité précoce à discriminer des éléments de l'environnement, tels que des formes, des quantités, des couleurs. L'enfant met en correspondance des redondances, des répétitions, des contrastes entre ces éléments. Après avoir commencé à établir de simples comparaisons, il crée des dépendances entre des propriétés variables ou constantes des objets : par exemple l'enfant comprend globalement que l'allongement d'un ressort et la masse de l'objet qu'il retient sont liés. Il s'agit de penser des changements physiquement perceptibles, c'est-à-dire avant tout spatiaux. Ces fonctions sont à l'enfant ce que les corrélations sont aux scientifiques : *« ce sont ces dépendances qui constituent les fonctions »* (Piaget et al., 1968, p.208). Les fonctions apparaissent donc bien avant les structures opératoires et concepts, et sont elles aussi issues de la perception et surtout de l'action. Elles ne permettent pas à l'enfant de supposer des propriétés statiques dans les objets, ni d'appliquer les principes prélogiques propres aux opérations concrètes et formelles (réversibilité, identité, etc…) mais constituent une forme de connaissance précoce et différente de la connaissance opérationnelle de l'enfant : *« Il se pourrait aussi – et cela permettrait de rendre compte des réussites précoces à certaines tâches – que les fonctions structurantes soient, à un moment donné de la genèse, une sorte de substitut concret, agi, de la future combinatoire »* (p.196). Ces fonctions poseraient des jalons pour l'établissement ultérieur des opérations : *« En effet, la fonction nous apparaît de plus en plus comme la source commune des opérations et de la causalité »* (Piaget et al., 1968, p.199).

L'activité prédictive de l'enfant à l'adulte – Les prédictions correctes peuvent indiquer une forme de connaissance pratique précoce. Si le sujet qui n'a pas d'explication causale d'un phénomène, peut prédire régulièrement et correctement un phénomène, il faut conclure qu'il a déjà une certaine compréhension dont il reste à déterminer les processus psychologiques sous-jacents. En effet, ces prédictions peuvent être bâties sur des conceptions explicites mais aussi sur des compétences implicites. C'est pourquoi les prédictions n'indiquent pas pour Piaget que le

concept soit acquis. Il n'est acquis que si l'enfant réalise des opérations avec lui, et non seulement s'il en discrimine des conséquences perceptives (Piaget, 1968). De même, à propos des prédictions en physique : *« isolées de tout contexte notionnel dépassant le cadre qu'elles offrent, elles n'ont pas par elles-mêmes l'ultime pouvoir explicatif »* (d'Espagnat, 2002, p.192). L'enfant peut donc être capable très tôt d'effectuer des prédictions correctes du fait de son action sur le monde matériel et du fait du développement des fonctions (Piaget, 1974a). Ces résolutions précoces l'amènent à des prises de conscience et à conceptualiser la solution (Piaget, 1974b). La connaissance Les relations entre prédictions et des conceptions explicites sont mal connues bien qu'elles aient un grand intérêt pour le psychologue (Piaget, 1927). L'enfant peut développer des connaissances au plan pratique avant d'en avoir une connaissance sur un nouveau plan, opératoire. On parle alors de décalage vertical (Piaget, 1937). Dans une approche constructiviste, il faut supposer que les réorganisations cognitives intègrent les possibilités d'actions et d'opérations précédentes et leur donnent davantage de possibilité. Le développement des conceptions causales aurait en retour un effet structurant sur les performances préalables, ce qui peut expliquer les progrès de l'adulte dans la prédiction de la flottaison des objets.

1.4 – Le développement de la causalité physique et la flottaison des objets

L'établissement de causalités pose des difficultés importantes pour le développement de la pensée et l'éducation aux sciences, y compris chez les plus âgés (Tiberghien, 2004). Dans un travail fondateur, Piaget (1927) entre dans la cognition de l'enfant qui essaie de se représenter et de comprendre un phénomène physique à la demande de l'expérimentateur. Il étudie comment l'enfant répond à des problèmes tels que « d'où viennent les ombres ? » ou « pourquoi les bateaux flottent ? ». De nombreux facteurs, plus ou moins saillants s'imposent à lui. Il y a une *« surdétermination des facteurs »*. Cette surdétermination initiale amène l'enfant à proposer des explications mais aussi vers de nouveaux problèmes. De plus selon Piaget, l'enfant a initialement une pensée syncrétique, où des concepts à la fois subjectifs et objectifs sont amalgamés, puis il dégage des concepts particuliers à l'univers matériel. L'enfant qui appréhende un phénomène physique tel que la flottaison des objets, rencontre donc au moins deux grandes difficultés : une réalité extrêmement hétérogène, et la nécessité de trouver une explication causale qui soit générale et spécifique aux phénomènes physiques.

1.4.1 – La causalité physique chez l'enfant (Piaget, 1927)

1.4.1.1 – Caractéristiques du développement des conceptions

L'enfant modifie des connaissances préalables – Piaget (1927) reprend des idées de Meyerson (1907) et distingue la *légalité* des phénomènes physiques, c'est-à-dire la description de l'enchaînement temporel des faits, et la *causalité* de ces phénomènes, c'est-à-dire l'explication du fonctionnement physique en attribuant les phénomènes à des objets identifiés comme cause. Ces deux types de connaissance voient leur influence changer selon le stade de développement : par moment l'enfant veut rendre compte de la diversité de la réalité, et par moment il a besoin d'une véritable compréhension des évènements physiques. En effet, les situations rencontrées

nécessitent régulièrement de changer de façon de penser : les faits perçus peuvent contredire l'explication de l'enfant, ou bien le fonctionnement physique met en évidence de nouveaux problèmes autour de l'objet. Des ajustements sont donc nécessaires dans la façon de penser l'objet physique.

Une nouvelle méthodologie – Conscient des différents aspects que peut prendre la connaissance, Piaget (1926, 1927) met en place une méthodologie particulière, qui deviendra classique : la *méthode critique piagétienne*. Cette méthode permet d'étudier comment l'enfant évolue dans sa façon d'expliquer des phénomènes particuliers, tels que les ombres, l'équilibre d'un objet ou la flottaison des corps. Un entretien oral est organisé et l'enfant explique le phénomène naturel, ici la flottaison des bateaux. Durant cet entretien, Piaget ne cherche pas seulement à savoir ce que l'enfant pense spontanément ou habituellement, mais plutôt ce qu'il est capable de faire pour adapter sa pensée. La pensée de l'enfant est stimulée : soit par des objets confiés tels qu'un morceau de bois, soit par une tâche concrète comme la construction d'un bateau, soit encore en comparant un objet avec un même volume d'eau. Il s'agit donc de suivre le raisonnement de l'enfant dans la construction de conceptions, plutôt que de déterminer les représentations de l'enfant. Deux remarques s'imposent pour analyser les résultats. Les études de Piaget sont basées sur des enfants d'âges différents, dont on suit le raisonnement sur une courte période. Aussi, les processus de changement sont bien souvent inférés. De plus, le problème est explicité à l'enfant avec une formulation de l'adulte, par exemple : *« Pourquoi les bateaux flottent ? »*. Cette formulation comporte en elle-même une orientation de la réponse. Enfin, l'adulte part d'un constat de généralité et de prédictibilité : certaines catégories d'objets sont présentées comme répondant à une règle.

Formes de précausalité et de causalité – La pensée pré-causale puis causale de l'enfant vise à décrire puis à mieux expliquer ses prédictions, correctes ou non. Dans l'étude des conceptions physiques, Piaget (1927) constate d'abord cinq formes de *précausalité* du jeune enfant, qui mêlent des aspects subjectifs et objectifs : causalités psychologique, animisme, artificialisme, finalisme, notion de force. Par exemple, l'animisme explique que l'enfant peut attribuer des raisons psychologiques comme la volonté ou l'intention de respecter des règles, à des objets qui expliquent le phénomène physique. Plus tard, lorsque l'enfant parvient à distinguer le vécu subjectif et le fonctionnement extérieur de la réalité, il développe douze formes de causalité, qui demeurent cependant contestables pour le physicien : psychologisme ou motivation (intentions extérieures), finalisme, phénoménisme (contiguïté entre des évènements proches), participation (d'un évènement distant à un autre), magie, morale, artificialisme, animisme, dynamisme (vitalisme, force…), réaction environnante, mécanisme, et génération (un phénomène naît d'un autre).

Quatre stades successifs – En regroupant les réponses individuelles des enfants en fonction de l'âge et des réponses données, Piaget distingue quatre étapes générales de développement ou « stades », supposées évoluer de manière similaire chez tous les individus : ces stades sont ordonnés les uns par rapport aux autres de manière nécessaire et chronologique. Les deux premiers constituent un *« réalisme grossier »* (p.179) tandis que le dernier rapproche la pensée de l'enfant de la pensée adulte.

1.4.1.2 – Stade 1, la recherche d'un déterminisme

L'importance de la légalité – Durant le premier stade, jusque vers l'âge de 5 ans, l'enfant cherche une loi qui donne du sens à chaque instant aux diverses formes du phénomène, plutôt que d'expliquer de manière unique un phénomène général : *« la loi commande l'explication »* (p.179). L'enfant fait preuve d'égocentrisme pour expliquer un phénomène changeant qui est difficile à prédire : de même que lui-même doit obéir à des injonctions de l'adulte bien qu'il puisse désobéir, il explique la flottaison en termes d'obéissance de l'objet à une loi supposée ou *« déterminisme moral »* (p.180). Cette explication parait peu scientifique. Pourtant, le phénomène lui apparaît déjà comme impliqué par la volonté de l'objet ou du fabriquant c'est-à-dire par une norme extérieure. Il y a bien un phénomène explicable : *« c'est à une nécessité morale qu'il recourt, mais il y a là, quand même, un début de justification »* (p.178). Comme l'enfant perçoit un phénomène qui se réalise seulement parfois, il cherche une règle contournable telle que la norme morale.

La confusion des causalités – Piaget rapporte les exemples de deux enfants de 4 ans 10 mois et de 6 ans qui expliquent la flottaison du bateau. Selon le premier : *« Il va rester sur l'eau, parce qu'ils doivent toujours rester sur l'eau »* ; *« Parce que c'est pas permis de mettre du verre sur l'eau »*. Selon le second : *« le bateau est plus intelligent que la pierre […]. Il ne fait pas ce qu'on doit pas faire »*. Ces explications morales sont teintées d'animisme car l'enfant peut attribuer aux objets des états mentaux, explicatifs selon lui du phénomène de flottaison. Selon Wellman et Gelman (1998), l'enfant confronté à un objet qui manifeste un comportement dynamique, fait la confusion entre plusieurs causalités, notamment physique et psychologique.

1.4.1.3 – Stade 2, un réalisme grossier

L'explication domine la légalité – Entre 5 et 8 ans, l'enfant dispose d'une explication en termes de « force », qui s'appliquerait diversement afin de justifier la variété des prédictions et observations. Par exemple, il désigne le volume d'un objet pour prédire la flottaison, mais si l'objet réagit différemment, il peut dire que c'est l'eau qui a suffisamment de force pour le soulever. Ce système de justifications ambivalentes permet de maintenir une explication, et de faire des prédictions, qui s'avèrent cependant aléatoires. Selon Piaget, les rapports entre prédiction et explication s'inversent par rapport au stade précédent : *« durant ce second stade, l'explication gouverne la prédiction. L'enfant dispose d'un schéma explicatif : les corps flottent parce que lourds […] »* (p.159).

Des propriétés physiques – L'enfant parvient donc à une explication causale et physique de la flottaison, en distinguant causes et conséquences. Son explication dynamique, en termes de force, permettrait à l'objet de se maintenir sur l'eau ou à l'eau de repousser l'objet. Ce dynamisme peut-être dû à de nombreux paramètres que l'enfant ne distingue pas clairement : la forme, la légèreté, la lourdeur, etc… Ceci l'amène à des réponses contradictoires. Pour cet enfant, *« les corps lourds ont plus de force que les corps légers, et peuvent ainsi mieux nager, mieux faire pression sur l'eau, mieux résister… »* (p.158). L'explication apparaît très égocentrée : l'enfant rapproche le phénomène et les efforts qu'il réalise lui-même lorsqu'il pousse un objet. Mais l'objet ne présente pas d'effort physique, ni de muscle. Il doit cependant obtenir sa puissance de quelque part. L'enfant compare alors la flottaison avec le fait de soulever l'objet :

l'objet exerce une pression physique d'autant plus importante sur la main que l'objet est pesant. Alors, un objet semble assez puissant pour résister à l'eau s'il est lourd, mais aussi selon sa forme, son volume, sa malléabilité, etc…

Les raisons de la flottaison – L'enfant évoque surtout trois raisons à cette résistance :
- L'objet flottant est suffisamment fort, c'est-à-dire qu'il a pour l'enfant une masse suffisante, de grandes dimensions, une matière ou une forme spécifique, qui permettent d'exercer davantage de pression: *« il reste dessus parce qu'il est lourd »* (p.156) ; *« il ira au fond parce que c'est gros »* (p.157) ; *« Parce que le caillou est mince et le bois est gros »* (p.156).
- L'eau exerce une force et repousse l'objet : *« Parce que l'eau est forte »* (p.156) ou *« Parce que l'eau est trop lourde»* (p.157). L'enfant évalue notamment cette force de l'eau en raison de sa profondeur, plutôt que de son volume qui reste encore difficile à concevoir.
- Il évoque une raison énergétique, où un travail mécanique (rames, moteur, courant d'eau…) qui permet à l'objet de nager sur l'eau : *« on les fait marcher avec un moteur »* (p.155).

1.4.1.4 – Stade 3, un début de relativisme

Le rôle du dynamisme – Entre 6 et 9 ans environ, l'enfant décrit la flottaison comme une activité dynamique de natation ou de vol plané : *« Tout est donc conçu en termes de dynamisme : le corps cherche à se faufiler, mais l'eau le repousse grâce à son courant, à ses vagues etc. »* (p.164). Il y a un pas vers la relativisation, l'enfant raisonnant à la fois sur l'objet par rapport à l'eau et sur les mouvements effectués par l'objet ou le liquide. Il essaie notamment de mettre en relation la masse de l'objet en termes de force exercée, et la quantité d'eau, à défaut de pouvoir en estimer la masse. Mais cette quantité reste difficile à appréhender puisque l'eau se déforme en fonction du contenant. De nombreux enfants se concentrent donc uniquement sur la profondeur de l'eau. Ils considèrent que l'eau a d'autant plus de force pour repousser l'objet à la surface qu'il y a une certaine quantité ou profondeur suffisante. Ceci crée aussi selon eux crée le courant et les vagues, car les mouvements de surface sont d'autant plus visibles que l'étendue d'eau est importante. Selon l'enfant : *« Il n'y a pas de courant. Là [la cuvette] il y a un petit courant »* (p.162) ; *« Ca va au fond parce qu'il y a pas assez d'eau »* (p.162) ; *« parce que l'eau fait monter des vagues… parce qu'il y a des vagues qui le tient »* (p.162) ; *« parce que l'eau est lourde »* (p.163). La notion de mouvement est donc importante. L'enfant cite parfois aussi l'élan de l'objet, dû à un mécanisme (moteur).

Une notion de masse amalgamée – L'enfant renverse à présent la conséquence de la masse des objets, les objets légers ayant plus de chances de flotter que les lourds. Ainsi le bateau ne coule pas : *« Parce qu'il est pas assez lourd »* (p.161) ; *« L'eau est forte alors ça tient le bateau dessus »* (p.162). Pourtant, la masse conserve un aspect dynamique. Elle n'est pas une caractéristique interne de l'objet, mais indique une capacité de pression sur un autre objet comme l'eau. Cette vision du poids est différente de la notion scientifique car elle est amalgamée avec d'autres propriétés perceptibles comme le volume, la forme, la rigidité, le contenu ou la matière. A ce stade, l'enfant ne sépare pas toujours masse et volume. Il ne peut pas non plus concevoir la masse volumique des objets ou leur densité relative : *« la relativité du poids et du volume n'est nullement aperçue de l'enfant »* (p.165). Lorsqu'il construit un bateau avec de la pâte à modeler, l'enfant essaie de faire flotter la pâte à modeler en faisant des morceaux de plus en plus petits, en diminuant à la fois la masse et le volume. Il ne parle que de masse de l'objet et non du rapport de

la masse au volume : *« l'enfant appelle « légers » les bateaux qui sont légers absolument parlant et non les bateaux qui sont légers par rapport à leur volume »* (p.164). Bien qu'ils admettent que le bois flotte, le bois leur semble plus lourd que l'eau, du fait d'une impression qui mêle la rigidité, la forme, le contenu et le volume par rapport à l'eau qui est déformable. Finalement, l'enfant cite le contenu et la forme de l'objet pour justifier qu'un objet transformé peut couler ou flotter. Par exemple, il parvient à faire flotter l'objet et déclare que du fait de sa forme, l'eau ne peut y pénétrer, ou encore que la forme pointue des bateaux leur permet de fendre l'eau.

L'approche essentialiste de la matière – L'enfant ne pense pas la masse relativement au volume mais commence à élaborer un nouveau concept grâce à la matière de l'objet : *« le bois est plus léger que l'eau. Il a pas assez de force tandis que le caillou et le fer a plus de force pour transpercer l'eau et il va au fond »* (p.163). Ainsi l'objet en bois est dit plus léger non du fait de sa masse volumique ou de sa densité, mais du fait qu'il exerce une force sur l'eau qui varie selon le matériau : *« Pour l'enfant du troisième stade, le poids spécifique du flottant commence à entrer en ligne de compte, puisque le caillou est tenu généralement comme plus lourd que le bois »* (p.166). Il ne s'agit pas d'un rapport de masse et de volume, mais du fait que le caillou apparaît plus rigide, plus épais, plus gros par rapport à l'eau. Cette distinction en fonction des matériaux est primordiale pour le stade suivant. L'enfant va s'appuyer sur elle pour élaborer une conception en termes de masse relative.

1.4.1.5 – Stade 4, l'articulation de concepts

Un compromis entre légalité et explication – À partir de 9 ans environ, il y a une épuration des variables : l'enfant établit des notions statiques mieux discriminées. Ces enfants développent une notion de la densité, d'abord intuitive puis progressivement relative à d'autres notions, notamment à la masse et au volume : *« l'intuition de la densité et la relation du poids au volume se dégagent peu à peu »* (p.170). Ce changement est relativement important : il correspond au passage d'une pensée opérationnelle concrète où l'enfant mentalise des actions et leurs conséquences, à la pensée formelle où il peut élaborer des hypothèses et rationaliser des concepts. C'est à ce moment qu'il crée des concepts explicites et différenciés, qu'il en a une maîtrise raisonnée. L'enfant conçoit alors que les objets ont des propriétés physiques internes indépendantes qu'il faut relier pour expliquer un phénomène.

La densité spécifique – L'idée de quantité totale de liquide disparaît des explications. Cependant l'enfant continue à comparer le poids de l'objet à l'eau. Il compare des matières en leur attribuant un poids spécifique par rapport à l'eau : le bois est plus léger que l'eau, la pierre est plus lourde, etc… Il développe donc un concept particulier : « *le poids spécifique »* : il s'agit de comparer le poids de matériaux différents mais de manière d'abord implicite par l'enfant, sans comparer des volumes identiques. Le bois devient donc plus léger que l'eau du fait des propriétés du matériau : *« Le plus lourd, c'est l'eau, parce que l'eau est lourde et puis pas le bois »*.

Une coordination progressive de la masse et du volume de l'objet – À partir de la densité spécifique, la pensée se précise en coordonnant peu à peu masse et volume de l'objet et de l'eau. Progressivement, l'idée de masse relativisée : *« le terme de « léger » prendra un sens tout nouveau : le poids devient relatif au volume correspond d'eau »* (p.170). Cette évolution est relativement lente.

- Le rapport entre masse et volume est d'abord intuitif, grâce aux notions de contenu d'air de l'objet ou de son vide. L'enfant justifie : *« l'air entre dedans, et ils sont plus légers que s'il y en avait pas »* ou encore *« l'air est plus difficile à faire entrer dans l'eau »* (p.173).
- La masse absolue de l'objet et la masse relative qui change en fonction du volume sont encore confondues. L'enfant est peu capable de séparer ces deux aspects de la masse de l'objet. Cependant, il pense que le fait de rendre l'objet plus volumineux lui fait perdre du poids, et non en gagner comme il le pensait auparavant. Il s'agit d'une étape intermédiaire dans la pensée : l'enfant relativise la masse et le volume, mais il pense que la masse réelle de l'objet diminue du fait du grossissement de l'objet. Il justifie donc: *« C'est vide et c'est mince. Ca fait moins lourd »* ; *« Parce qu'il est plus serré* […]. *Il est lourd »* (p.175).
- Dans un dernier temps, l'enfant combine volume et masse. Il dispose alors des concepts de masse absolue et de masse relative au volume de l'objet. La déformation d'une boule de pâte n'implique plus de changement de sa masse absolue, mais bien de sa masse relative. Selon l'enfant, la masse est *« la même chose, mais elle est plus grande »* ou encore *« le bois ça occupe une grande place »* (p.177). La notion rationnelle de densité semble constituée.

1.4.2 – Comprendre la flottaison des liquides : l'étude de Piaget et Chatillon (1975)

Objectif – Les étapes de la causalité physique peuvent être spécifiques à cette tâche, et les notions de l'enfant apparaissent peut-être différemment avec d'autres problèmes. Alors que la plupart des études sur la compréhension de la flottaison chez les enfants se centrent sur la façon dont l'enfant attribue des propriétés à l'objet, Piaget et Chatillon (1975) s'interrogent sur la façon dont l'enfant interprète la flottaison avec des liquides de densités variables.

Méthode – Les chercheurs utilisent un nouveau dispositif. Les enfants sont confrontés à un objet liquide (une goutte) placé dans un autre environnement liquide et qui peut réagir de 3 manières : soit il flotte, soit il coule, soit il reste là où il est placé. Deux tâches sont successivement proposées à des enfants de 4 à 12 ans. Dans la première, on fait varier les objets mais pas le liquide. Une pierre, un gobelet, un sucre, une goutte de vinaigre et une goutte d'huile sont placés dans cinq verres d'eau identiques. L'enfant prévoit puis justifie sa prédiction. Après vérification, il doit réexpliquer ce qu'il a observé, et comparer ses propos. Des contre-suggestions permettent de tester la consistance de sa réponse. Par exemple, on lui demande : *« la pierre va-t-elle finir par remonter ? »*, *« les petits morceaux de sucre étaient-ils déjà là ? »*… Dans la seconde tâche, on fait varier l'environnement liquide mais pas l'objet. Des gouttes d'huile sont déposées sur des liquides de densités différentes. L'enfant doit à nouveau faire des prévisions et justifier ce qu'il pense observer. Après vérification il explique à nouveau ce qu'il a observé. Les contre-suggestions sont à nouveaux proposées, par exemple : *« que se passe-t-il si on coupe les gouttes ? »* ou *« si on remue le verre ? »*.

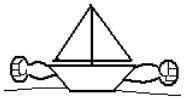
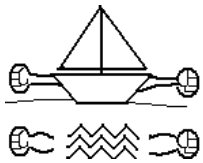
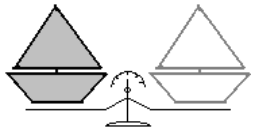
Des résultats confirmatoires – Les résultats soutiennent l'étude précédente (Piaget, 1927 ; Piaget & Inhelder, 1941). Les explications des enfants portent sur la dissolution, sur la miscibilité et sur la flottaison. Concernant les explications de la flottaison, à un niveau IA, vers 4 ans, l'enfant n'a pas de légalité véritablement acquise, si bien que le phénomène leur semble incertain. Ils invoquent des explications animistes (*« elle se repose »*) et parfois la lourdeur de l'objet peut expliquer qu'il flotte. Dans un niveau IB, vers 5-6 ans, l'enfant développe davantage ce dernier argument : la lourdeur de l'objet est évoquée à la fois pour désigner la dureté de l'objet ou sa

résistance mais de manière ambiguë car elle justifie à la fois que l'objet flotte ou coule. Au niveau IIA, les enfants de 7-8 ans commencent à utiliser la lourdeur de l'objet ou sa légèreté, pour expliquer respectivement qu'il coule ou qu'il flotte. Cependant cet argument n'est pas encore stabilisé. De plus, l'enfant commence à s'intéresser au liquide, en considérant que des mouvements de surface expliquent le phénomène, soit que le liquide a la propriété de faire flotter ou couler, soit que cela dépend de la quantité de liquide, soit enfin du fait de sa lourdeur. Au niveau IIB, les enfants de 9-10 ans considèrent à la fois l'objet et le liquide en relation en leur attribuant des propriétés comparables. Mais ils ne parviennent pas à formaliser ce rapport. Au stade III, les enfants de 10-12 ans parviennent à intégrer la notion de volume et à comparer la masse volumique des gouttes d'huile. Les tâches de dissolution et miscibilité, montrent qu'ils parviennent à une approche corpusculaire, où la matière apparaît plus ou moins serrée. L'enfant peut répondre : *« une goutte d'eau de même grandeur qu'une goutte d'huile, ça ferait plus lourd »*. Les enfants évoquent *« les rapports de poids et de poids relatifs au volume »* (p.45.). Le développement des conceptions causales renforcerait donc la théorie piagétienne.

1.4.3 – Conclusion sur l'étude piagétienne des conceptions sur la flottaison

L'évolution vers une causalité physique – Il y a constitution d'un domaine physique dans la pensée de l'enfant. L'univers physique et l'univers psychologique ne sont pas disjoints dans la pensée précoce de l'enfant. Les premières inférences causalistes sont marquées par une entreprise de distinction des phénomènes, notamment physiques, psychologiques et biologiques (Wellman & Gellman, 1998). Etant donné les différences parfois très fines entre ces différents domaines de pensée, l'enfant est tenté d'attribuer des émotions ou des états mentaux aux choses (*« les nuages s'éloignent parce qu'ils ont peur »*), de même qu'il peut ramener l'explication d'un évènement psychologique à une cause physique (*« Maman est revenue parce qu'elle est là »*). L'explication de ces causalités semble donc longtemps pré-causale, c'est-à-dire qu'il tente d'expliquer de manière tautologique, ou à l'aide d'arguments animistes ou anthropomorphiques, les phénomènes (Piaget, 1937). Ses premières constructions mentales du monde physique sont originales du point de vue de l'adulte. Contrairement à ce qui est parfois présenté (Siegal, 2002), Piaget ne pointe pas une confusion entre réalité et apparence, mais un effort pour les départager peu à peu dans des explications causales, à partir d'un point de vue propre. Penser que le monde existe en dehors de la perception de cet univers, implique de repérer ce qui différencie ou rapproche ces deux univers co-occurrents. Bien avant 2 ans, l'enfant a appris que l'objet existe en permanence même s'il disparaît de la vision (Piaget, 1937). Les travaux cités proposent un tableau général d'évolution des conceptions physiques de l'enfant (voir Tableau 1).

Tableau 1 – Les stades de conception par l'enfant de la flottaison des bateaux

Stade	I	II	III	IV
Âge approximatif	<5 ans	5-8 ans	6-9 ans	>9 ans
Représentation mnémotechnique				
Principale caractéristique	Précausalité (animisme, artificialisme…)	Causalité La lourdeur en tant que force permet de flotter	La lourdeur fait couler, à l'opposé de la légèreté	Attribution de propriétés statiques et communes, internes à l'objet La masse est relativisée par le volume
Caractéristiques des conceptions	- Fort égocentrisme - Diversité explicative	- Egocentrisme - Dynamisme	- Début de relativisme (objet / quantité d'eau) - Dynamisme	- Variables statiques - Pensée proportionnelle - Notions intuitives de la densité
Causalité	- Indissociation des causalités psychologique et physique - Confusion entre cause et conséquence	- Causalité uniquement physique - Indistinction des concepts physiques - Amalgame de concepts (force, masse, volume…)	- Un ensemble de concepts physiques encore mal distingués - La notion de masse se détache de la notion de volume.	- La notion de poids spécifique permet de comparer des densités selon la matière. - Préconceptions de la masse volumique : le contenu d'air puis l'articulation de masse et volume en sens inversement proportionnel - Distinction entre masse absolue et masse relative
Exemples d'explication	*- « Le bateau veut flotter »*, *- « Il doit couler »*	*- « Parce que c'est gros »*	*- « Parce que le caillou est lourd »* ; *- « L'eau n'entre pas dans le bateau »*	*- « Le plus lourd, c'est l'eau, parce que l'eau est lourde et puis pas le bois »*

Des principes épistémiques – L'enfant élabore sa pensée avec deux objectifs qui se concurrencent : rendre compte avec précision des faits, et élaborer une explication unique et cohérente. Il doit à la fois se décentrer vers l'objet, pour tenter d'en comprendre les particularités, et vers ses propres explications pour en repérer les limites : c'est la différenciation entre légalité

et causalité. Les changements de la causalité suivent certaines tendances qui expliquent une progression plutôt que des changements arbitraires. Deux tendances évolutives se dégagent. Il y a un passage de conceptions dynamiques, où le phénomène est abordé à partir des impressions subjectives de l'objet, à des conceptions mécanistes, où le phénomène est expliqué par des concepts statiques de l'univers matériel, qui sont sélectionnés et mis en relation. Il y a aussi le passage d'une causalité indifférenciée, où de nombreux facteurs sont utilisés à une causalité physique, où l'enfant cherche à enchaîner des facteurs physiques déterminants. La recherche de ces régularités par l'enfant a fait l'objet de nombreux travaux. L'enfant attribue rapidement de la continuité et du changement à son environnement. L'évolution de la causalité semble guidée par des principes. Weil-Barais (1995) résume ainsi sept principes :

- un principe de productivité, où un phénomène est attribué à une cause ;
- un principe de constance, où une cause produit régulièrement un effet ;
- un principe d'unicité, où la même cause implique les mêmes effets ;
- un principe de contiguïté temporelle ou principe d'asymétrie, où la cause précède l'effet, mais les deux sont proches dans le temps ;
- un principe de localité, où la cause parait similaire dans sa structure à l'effet ;
- un principe de similarité, où les propriétés de la cause correspondent à celles de l'effet ;
- un principe de covariation, où une cause est d'autant plus déterminante qu'elle covarie en même temps que l'effet.

Ces principes guident les explications de l'enfant mais peuvent constituer des difficultés en même temps. Par exemple, une difficulté vient du fait qu'il suppose tôt un mécanisme causal à partir de covariations d'évènements, qui évoluent en même temps. Cette tendance perdure jusqu'à l'adolescence, et se retrouve parfois chez l'adulte (Koslowski, 1996 ; Koslowski & Masnick, 2002). Or, lorsqu'il y a causalité, deux objets au moins sont présents ; mais ce n'est pas parce que deux objets sont présents en même temps qu'il y a causalité.

Le développement de concepts – La construction de la causalité physique montre l'importance des concepts en tant qu'objet d'étude. Piaget (1927) remarque une difficulté de l'enfant à utiliser des concepts tels que la masse ou le volume, ce qui oblige à prévoir de nouvelles études, avec des tâches qui mettront mieux en avant le développement des concepts.

1.5 – Le développement de concepts physiques : matière, masse, volume, densité

L'enfant fait face à un univers changeant et complexe dont il construit d'abord une connaissance subjective. Cette connaissance confond les évènements physiques et psychologiques. C'est pourquoi, la balle qui roule sous le meuble disparaît de la perception mais continue d'exister matériellement : cette découverte apparemment simple est réalisée comme une prouesse intellectuelle qui permet à l'enfant de supposer l'existence d'inobservables (Piaget, 1937). En distinguant la causalité physique d'autres causalités, l'enfant considère un univers fait de substance et de matière, ayant un fonctionnement spécifique (Piaget, 1927). Les enfants raisonnent sur des situations, telles que la flottaison des objets, qui convoquent des variables physiques dont ils n'ont pas toujours connaissance. Il élabore des catégories pour discriminer les objets de manière de moins en moins subjective, en distinguant des invariants physiques tels que

la forme, la masse, la couleur. Les concepts sont réélaborés plusieurs fois sous le coup de l'expérience de sorte qu'il est difficile de retrouver leur origine. Cette évolution montre un rapprochement avec les concepts scientifiques. Après avoir présenté la raison de cet intérêt pour les concepts, nous verrons comment Piaget et Inhelder (1941) présentent le développement de concepts quantitatifs, puis l'importance des interactions répétées avec l'environnement physique (Brainerd & Allen, 1971) ; enfin est présenté le courant *conceptual change* et une étude importante à propos des concepts de masse, volume et densité (Smith, Carey & Wiser, 1985).

1.5.1 – Le développement des concepts physiques

Naissance du schème conceptuel – Les notions, telles que la masse ou la quantité de matière, ne sont pas établies par l'enfant face à un problème unique. C'est la multitude de situations où il évolue, qui nécessite des structures communes et générales, les *schèmes*. L'évolution du schème sensori-moteur au schème conceptuel est décrite par Piaget (1945). Des schèmes sensori-moteurs permettent d'abord d'organiser l'action et la perception en tenant compte des aspects perçus de manière subjective. Avec le développement d'une pensée symbolique et du langage, le système des schèmes gagne en décentration et en généralité : l'enfant peut alors s'appuyer sur des représentations pour assimiler la réalité. Ce développement du langage montre le développement de *pseudo-concepts*, qui sont des schèmes verbaux, à mi-chemin entre le schème sensori-moteur et le schème conceptuel. Ces pseudo-concepts restent encore subjectifs et peu structurés. Ainsi la notion de lourdeur n'est pas opposée à celle de légèreté. La constitution des opérations concrètes puis formelles permet finalement de constituer de véritables schèmes conceptuels. Le concept de masse peut alors véritablement se constituer. L'avènement d'une pensée symbolique suivie d'une pensée opérationnelle permettent donc l'émergence de ce schème particulier qu'est le concept : *« Le concept est général et communicable »* (Piaget, 1945, p.238).

Le concept et les opérations mentales – C'est au moment où l'enfant réalise des *opérations concrètes* qu'il devient capable de manipuler mentalement des concepts distincts, notamment les notions de substance (quantité de matière), de masse et de volume. La notion d'opération concrète puis formelle est donc fondamentale. Elle permet notamment de distinguer le concept catégoriel du concept formel (Weil-Barais, 1993 ; Lemeignan et Weil-Barais, 1999). Le concept catégoriel, comme le concept de matériau, désigne des objets regroupés dans une classe soit par des caractéristiques perceptives ou fonctionnelles qui sont communes et nécessaires, soit par un ensemble de caractéristiques qui sont courantes dans cette catégorie sans être nécessaires, soit enfin à l'aide d'exemplaires typiques auxquels on rattache des objets conceptuellement proches. Ces concepts catégoriels sont organisés de manière hiérarchique en sous-classes d'objets. Le concept formel est plus abstrait et reste difficile à se représenter car il traduit un ensemble de relations, comme le concept d'indépendance ou de sublimation. Cette évolution des concepts liés aux opérations concrètes puis formelles permet de distinguer des degrés d'élaboration selon que les concepts sont intensifs ou extensifs : les *quantités intensives* sont perceptuelles et logiques (par ex : A est plus lourd que B ; A fait partie de B…) ; les *quantités extensives*, appliquées aux variables continues comme l'espace ou le temps, supposent que les rapports entre A et B sont normés par un calcul logicomathématique. Les quantités métriques ou numériques sont un cas particulier des quantités extensives où il y a en plus une unité de mesure. Le développement des opérations concrètes puis des opérations formelles

permet de construire des concepts statiques de la physique et de les relier en théories structurées. Piaget et Inhelder ne proposent pas un schéma d'association progressive des idées mais plutôt une désambiguïsation progressive de notions au départ intuitives et enchevêtrées. C'est ainsi que selon eux, les notions de masse et de volume sont peu à peu distinguées par l'enfant. En plus de ce processus de différenciation, l'enfant développe leur mise en relation. Il utilise ainsi d'abord une notion intuitive de la densité puis une notion qui coordonne d'autres concepts.

Les fonctions du concept physique – Le concept est un élément essentiel de la pensée parce qu'il permet réduire les variations du réel en considérant un ensemble d'objets comme une seule et même chose, et d'en avoir à tout moment en mémoire un résumé abstrait. La première fonction des concepts est de catégoriser. Ils ont cependant d'autres fonctions : ils permettent de distinguer un objet ou une catégorie d'objet par rapport à d'autres, de faire des inférences ou des prédictions sur ces objets, d'expliquer ou de raisonner en construisant des conceptions et des théories et de communiquer (Bruner, Goodnow & Austin, 1956). Enfin, l'utilisation régulière des concepts oblige à les ajuster de sorte qu'ils sont essentiels dans l'apprentissage (Solomon, Medin & Lynch, 1999). Cependant l'idée de concept n'est elle-même pas homogène. Plusieurs types de concepts sont à considérer (Medin, Lynch & Solomon, 2000). Le concept physique au sens piagétien est un invariant ou une propriété physique, et non une catégorie d'objets. En effet, Piaget distingue l'activité de classification et l'activité de conceptualisation causale. Par exemple, la masse est un concept physique explicatif de certains phénomènes alors que le bateau n'est qu'une classe d'objets observables pour le physicien. La classification des objets est préalable et contribue au développement des principes logiques et mathématiques ; ces principes contribuent à leur tour au développement des concepts physiques. En ce sens, le concept est acquis s'il est nettement différencié d'autres propriétés et qu'il permet de faire des opérations volontaires, c'est-à-dire d'être manipulé mentalement. Ils ont une fonction constructive : ils participent en retour à modifier l'explication causale, quitte à être re-coordonnés ou re-définis. Selon Vergnaud (1991), le concept peut se définir par trois caractéristiques : l'ensemble des situations qui donnent du sens au concept (référence), l'ensemble des traits invariants sur lesquels reposent les schèmes (le signifié) et l'ensemble des formes langagières et non langagières permettant de représenter le concept comme une chose, avec ses propres caractéristiques (le signifiant). Les concepts sont reliés en systèmes : ils se co-structurent. L'organisation en système des concepts avec des procédures et représentations permet de donner forme à des systèmes conceptuels explicatifs (Thagard, 1992 ; Vergnaud, 1991, 2009).

Des concepts en évolution – L'enfant est tôt capable de s'appuyer sur des caractéristiques de l'environnement pour réaliser certaines actions ou prédictions, mais il ne peut pas le faire en distinguant précisément les concepts les uns des autres. Au mieux, l'adulte infère des concepts précoces chez l'enfant. Il faut du temps à l'enfant pour élaborer des concepts généraux et applicables à tout problème de physique. La *différenciation des concepts* apparaît comme un processus psychologique important. Au cours de l'ontogenèse, ces concepts évoluent eux-mêmes, ce qui nécessite d'étudier l'évolution de leur sens, de leur signification et parfois de leur quantification. D'abord, le signifié des concepts développés durant l'enfance n'est pas uniquement un produit du raisonnement qui serait ajusté au fur et à mesure. En fait, il a un rôle actif et contribue à sa propre transformation du fait que le concept est utilisé dans de multiples situations et est régulièrement insatisfaisant. Ensuite, une difficulté vient du signifiant du concept : un concept peut être nommé différemment en fonction du développement (par ex : l'enfant exprime avec la « lourdeur » à la fois un concept de masse, un concept de densité et une

idée de puissance) ou encore un mot peut désigner différents concepts (par ex : le « poids » signifie masse pour beaucoup de gens et « force de gravité » pour l'expert). Enfin, Piaget et Inhelder (1941) mettent en avant une évolution majeure de certains concepts : l'évolution d'une *quantification intensive* vers une *quantification extensive*, c'est-à-dire vers des concepts permettant de mesurer le réel.

1.5.2 – Le développement des quantités physiques (Piaget & Inhelder, 1941)

1.5.2.1 – Présentation de l'étude

Des qualités aux quantités physiques – Les notions de forme, de matériau et de couleur semblent plus précoces que les notions de masse ou de volume. Les notions de masse, de volume et de densité peuvent être perçues comme une marque d'évolution vers la pensée physicienne, notamment du fait qu'ils sont quantifiables, et qu'on peut les relativiser finement l'un par rapport à l'autre. Les recherches de Piaget et Inhelder (1941) sur *« le développement des quantités chez l'enfant »* constituent une étude de la quantification des concepts dans des tâches relativement circonscrites. Ils montrent comment l'enfant raisonne pour élaborer une compréhension qualitative du réel, puis comment cette élaboration donne forme à des notions quantitatives. Leur étude explique donc comment l'enfant réalise des opérations sur des aspects physiques du monde (masse, volume, densité…) avant même que l'enfant ne les distingue clairement.

Méthodologie – Les chercheurs utilisent une nouvelle forme de tâche : les tâches de conservation (Piaget & Szeminska, 1941 ; Piaget & Inhelder, 1941). Dans ces tâches, une variable de l'objet est modifiée devant l'enfant de manière à ce qu'une autre variable reste identique. Les problèmes proposés sont limités à quelques variables que l'expérimentateur fait évoluer devant l'enfant, ce qui focalise l'attention sur les changements. De plus les variables mobilisées sont limitées en nombre. De ce fait, cette recherche pointe davantage ce que l'enfant peut être capable de penser, que ce qu'il va penser au quotidien face à des problèmes complexes de physique dont il élabore une compréhension de manière autonome et globale. En revanche, cette méthodologie permet d'aborder le développement avec une analyse qualitative qui conserve des caractères de systématicité. Par exemple, on modifie la masse d'un objet mais pas son volume, ou bien son volume mais pas sa forme. L'enfant doit alors expliquer le changement ou anticiper si l'objet va se comporter différemment. Le problème que rencontre l'enfant n'est pas d'identifier des variables physiques statiques, mais plutôt de résoudre des problèmes tels que : « quel objet est le plus lourd ? » ; « si on change la forme de l'objet, est-ce que sa masse change ? », etc… Quatre stades de développement de ces concepts indiquent si l'enfant est capable par lui-même de manipuler des facteurs indépendamment et de distinguer la variable modifiée et les invariants : quantité de substance, masse et volume.

Le phénomène de flottaison mobilise de nombreux concepts – La tâche de flottaison a souvent été utilisée pour étudier le concept de densité. Mais inversement, de nombreuses notions sont nécessaires pour l'enfant afin de construire une compréhension du phénomène : les notions « flotte » et « coule », le volume, la densité, les forces… C'est pourquoi nous récapitulons quelques opérations que l'enfant met en place à propos de ces notions.

1.5.2.2 – Le concept fondamental de la quantité de substance

La conservation de la substance – La quantité continue qui est tôt opérationnelle dans l'esprit de l'enfant, est celle de la quantité de matière de l'objet. L'enfant est rapidement à même de considérer que l'objet n'a ni perdu, ni gagné de la matière malgré d'autres variations de l'objet (volume, couleur, forme…) : c'est *« le* quantum *physique le plus simple et le plus indifférencié »* (Piaget & Inhelder, 1941, p.21). Après que l'enfant ait composé une boule de pâte de même taille que celle de l'adulte, on en déforme ou fragmente l'une. Par rapport la boule de référence, l'enfant non-conservant considère que l'objet a perdu ou gagné de la matière. L'enfant conservant considère que la quantité de matière est inchangée. Ses arguments montrent alors qu'il suppose mentalement qu'une action inverse permet de revenir à l'état initial, ou bien qu'il y a toujours identité de la quantité de matière, ou encore qu'on peut compenser ou trouver une action réciproque (chapitre 1). Ce constat est appliqué à un problème quotidien de physique : la dissolution du sucre (chapitres 4 et 5). L'enfant considère d'abord que le sucre a disparu, même s'il constate le maintien du poids du verre d'eau sucrée ou le maintien du niveau de l'eau qui reste plus élevé. A partir du deuxième stade, l'enfant vers 6 ans suppose peu à peu que le sucre s'est divisé sans disparaître : l'objet n'est plus visible mais sa substance s'est conservée. Cette évolution vers la conservation n'est pas due aux faits perçus par l'enfant, qui sont les mêmes que précédemment ; elle est due à une interprétation nouvelle des faits, à partir du moment où l'enfant pose *a priori* la permanence de la substance. Par exemple, c'est parce que le sucre reste présent en substance que le niveau d'eau reste élevé ou encore que l'eau reste sucrée.

La permanence de la matière, base des futurs concepts – Cette étape marque l'entrée de l'enfant dans un univers physique où les phénomènes doivent être réels pour exister, et s'organisent par des principes structurés. Après la permanence de l'objet, la permanence de la substance montre une compétence de l'enfant à penser des caractéristiques universelles et statiques du monde matériel. Ce concept fondamental donne un premier support quantifiable à l'existence de l'objet, malgré des déformations. L'évolution est remarquable parce que l'enfant commence alors à rationaliser sa pensée : le stade II marque le début des opérations concrètes de l'enfant. Alors qu'au stade I, la quantité de substance, la masse et le volume semblent indifférenciés pour lui, au stade II, il y a une différenciation entre la substance d'une part, et le volume et la masse d'autre part. Cependant, cette différenciation n'amène pas de suite de conséquence autour des autres concepts : pour cet enfant, la quantité de substance ne change pas lorsqu'on déforme l'objet, mais implique une perte de masse et de volume. Les enfants à ce stade continuent de penser que le sucre ne pèse plus rien ou a perdu du poids en se fragmentant et que le volume du sucre diminue ou disparaît. Si on découpe un objet en plus petites parties, la quantité de matière reste la même pour lui, mais l'enfant suppose que le poids ou le volume changent. Il faut un certain temps pour que l'enfant tire des conséquences en termes d'identité : une boule coupée en deux parts égales, donne des objets dont le poids et le volume sont moitié moindre ; ou encore la quantité de substance de deux objets assemblés totalise les quantités de matière des deux objets, mais aussi leur poids et leur volume. La conservation de la quantité substance est primordiale et devient un étalon de la matière. Cette progression explique que chez des enfants de 4 ans, un entraînement aux conservations de la substance et des longueurs, favorise le développement de la conservation de la masse dans les jugements comme dans les explications, mais pas l'entraînement à la conservation des longueurs et des quantités numériques (Denney, Zeytinoglu & Seizer, 1977). Le concept quantitatif de *substance* est un cas fondamental, qui sera décliné autour d'autres concepts (masse, volume, matériau…) qui

persisteront et vont reléguer l'idée de quantité de matière (voir Tableau 2). L'adulte semble simplement avoir oublié ou perdu ce concept enfantin.

Tableau 2 – Les stades de conservation de la substance, de la masse et du volume

<table>
<tr><th>Stade</th><th>Matière</th><th>Masse</th><th>Volume</th></tr>
<tr><td>IV</td><td rowspan="3">Conservation de la matière</td><td rowspan="2">Conservation du poids</td><td>Conservation du volume</td></tr>
<tr><td>III</td><td>Non-conservation du volume</td></tr>
<tr><td>II</td><td colspan="2">Non conservation du poids et du volume</td></tr>
<tr><td>I</td><td colspan="3">Non conservation, fusion dans un même schème subjectif et incoordonné</td></tr>
</table>

1.5.2.3 – Les concepts de masse, volume et densité

La « lourdeur », pseudo-concept de la masse – L'enfant est précocement capable de se comporter différemment avec des objets plus ou moins lourds. Cela ne signifie pas qu'il a acquis le concept de « masse » des objets. Il semble d'ailleurs longtemps faire covarier le volume et la masse des objets, parlant indistinctement d'objets « gros » ou « lourds ». Au stade II, l'enfant pense que le poids et le volume sont des notions diffuses et qui représentent un tout phénoménal qui change du fait que l'objet est déformé ou sectionné. L'enfant parle alors de la « lourdeur » de l'objet pour indiquer que l'objet lui résiste plus ou moins lorsqu'il tente de soulever certains objets. En disant que l'objet est lourd ou léger, il ne parle pas d'une masse qui serait dans l'objet, mais du fait que l'objet est plus ou moins facile à soulever. Il a en fait un pseudo-concept personnel de « lourdeur », dépendant de son action : *« Le poids est, en effet, une force longtemps conçue en relation directe avec les efforts musculaires inhérents à l'acte de soulever »* (Piaget & Inhelder, 1941, p.30). Ce concept primaire ne correspond pas à l'idée de masse de l'adulte et du physicien. Il va falloir du temps et de l'expérience pour que l'enfant attribue une propriété « masse » inhérente à l'objet. Une raison de cette difficulté conceptuelle vient du fait que la masse est invisible : l'objet déformé ne se présente plus de la même façon dans la main, qui est l'intermédiaire pour percevoir la masse. Malgré l'argument que visuellement rien n'a changé en quantité de matière, au niveau du toucher, en revanche, l'objet semble changer de masse, il parait plus lourd ou plus léger selon qu'il est étalé, en boule, en rondin… : *« pour les impressions musculaires subjectives il n'est, en effet, pas exact que le boudin gagne en longueur ce qu'il perd en hauteur »* (p.37). L'enfant reporte cette estimation dans d'autres situations. Lorsqu'il est mis en face d'une balance, tant qu'il ne conserve pas la masse mais pense en termes de lourdeur, il infère que la balance se comporte comme sa main et donc, jusqu'au stade III, que la masse varie lorsqu'on déforme l'objet. La masse est pour l'enfant davantage une sorte de concept de force dépendant de la forme de l'objet et de son propre corps, qu'un attribut abstrait et général contenu dans les objets : *« le poids n'est pas, pour l'enfant de ce niveau, une constante physique indépendante de la forme de l'objet parce que, selon les formes successives, la pression exercée par cet objet sur le sujet qui pourrait le soupeser est différemment sentie et imaginée »* (p.40). Les résultats sont identiques en comparant deux boules, l'une immobile et l'autre en rotation, cette dernière paraissant plus lourde parce qu'elle imprime une plus grande force ou plus légère parce qu'elle décolle du support.

La conservation de la masse – L'enfant une fois qu'il a établi la conservation de la substance, sait que la découpe de l'objet en petites parties ne modifie pas la quantité totale de

matière. Il a encore des doutes : des contradictions du réel (ex : la balance n'indique pas une masse différente de la pâte à modeler une fois mise en boudin), et des contradictions perceptives (ex : l'enfant peut être incertain du fait que la galette est plus lourde que la boule, il doit soupeser l'objet plusieurs fois…). A partir du stade III vers 8 ans, l'enfant parvient à dire que la masse ne change donc pas elle non plus, lorsqu'on déforme l'objet. Ceci l'amène à une nouvelle conclusion : non seulement la masse ne change pas lorsqu'on déforme l'objet, mais la masse découle de la quantité de substance de l'objet : *« Tous ces enfants raisonnent comme si la conservation de la substance impliquait ipso facto celle du poids »* (p.57).

Difficultés de la conservation du volume – Le volume pose des difficultés conceptuelles nouvelles. D'autres notions interfèrent avec ce concept : la quantité de matière, la masse ou la lourdeur, mais aussi la « taille » ou la profondeur de l'objet... *« En effet, la voluminosité ou aspect perceptif du volume des corps apparaît comme dépendant à la fois de la forme de l'objet, de ses dimensions et de son contenu, de même que le volume physique, une fois quantifié et détaché de son apparence qualitative, se définira pour l'enfant comme un rapport entre la quantité de matière et sa compression ou concentration »* (p.64). De ce fait, ce concept pose aussi une contrainte pour l'expérimentateur qui étudie son développement. Il est notamment étudié à travers un phénomène de physique : le déplacement des volumes d'eau et le niveau de l'eau (Piaget, 1927). Piaget et Inhelder (1941) demandent à l'enfant d'indiquer sur un récipient si l'eau va monter du fait de l'immersion d'une boule de pâte à modeler. Une fois la vérification effectuée, ils font une prévision pour une nouvelle boule identique, puis pour différentes déformations de cette boule. La tâche est donc plus complexe que celles prévues pour étudier les concepts de matière et de masse. Un enchaînement de raisonnements est appliqué à l'objet et à l'eau. L'enfant pense jusque vers 7-8 ans environ que le niveau de l'eau monte du fait de la lourdeur de l'objet ; puis il fait des prévisions correctes sans pour autant conceptualiser correctement ; enfin il parvient à des prévisions correctes et pense l'influence du volume de l'objet sur le niveau de l'eau (Piaget, 1927). En particulier, tant qu'il ne conserve pas le volume, l'enfant pense l'objet jusqu'au stade III comme une structure globale : sa segmentation en fragments éparpillés apparaît comme une augmentation du volume et sa déformation apparaît comme un dépassement en longueur. Pour contrecarrer l'idée que les déformations ou la position de l'objet altèrent le volume, il doit concevoir que la matière est plus ou moins serrée et qu'elle garde la même concentration malgré les déformations : *« le volume implique précisément une coordination de plus, qui est celle de la quantité de matière avec la concentration des éléments »* (p.65).

La conservation du volume – La compréhension du concept de volume nécessite de coordonner plusieurs invariants (la substance et la masse, les dimensions spatiales et la compression de la matière). Lorsque l'enfant maîtrise la conservation de la matière et de la masse, et cherche à expliquer que l'espace occupé peut changer, il élabore l'idée que l'objet peut être plus ou moins dilaté : ainsi l'objet conserve sa quantité de substance, sa masse mais son volume peut changer. Une fois ce schème de compression établi (Stade IVA), il doit alors se rendre compte que la réalité le contredit et que l'objet ne se dilate pas lorsqu'il est découpé ou déformé (stade IVB) : par conséquent, les parties de l'objet conservent leur concentration et l'objet garde globalement la même spatialité, sauf s'il se dilate ou se compresse. A cette étape, l'enfant de 9-10 ans a alors développé une « identité extrinsèque » entre les concepts de quantité de matière, de masse et de volume, qui dès lors sont des invariants distincts et coordonnés (p.71-

72). Le concept physique de volume se complète plus tard par une coordination de trois dimensions spatiales (longueur, largeur et hauteur).

L'approche du concept de densité – L'enfant élabore précocement des distinctions intuitives entre diverses densités, ceci dès le stade I, notamment à partir des matériaux qui les composent. Les enfants dès 4 à 7 ans : *« déclarent eux-mêmes que la matière du liège est plus légère »* (p.166). Cette approche de la densité se stabilise autour de 8 ans, où l'enfant peut alors explicitement comparer des matériaux différents pour évaluer indirectement des densités. Ce concept intuitif de la densité permet à l'enfant de penser la densité de l'objet sans pour autant mobiliser de calculs ni de rapports de proportionnalité. Contrairement aux concepts de masse et de volume qui se dégagent progressivement comme deux modes de quantification de la substance, la densité est à la fois issue de ces concepts quantitatifs et de la notion de qualitative de matériau qui permet préalablement à l'enfant de concevoir de manière qualitative (ou intensive), la densité des objets. Jusqu'au stade II, l'enfant ne parvient pas à combiner les variables de masse et de volume. À partir du stade III, l'enfant commence à conserver la masse de l'objet. Les différences de masse en fonction du matériau s'expliquent aussi en termes de contenu, c'est-à-dire d'espaces pleins et vides de l'objet. Aussi, l'enfant conçoit progressivement l'objet comme étant plus ou moins compressé. Au stade IV, il se réfère à une matière plus ou moins compressée, *« c'est-à-dire à des modes de composition purement spatiaux »* (p.165). Ce schème spatial favorise le concept de volume, et initie une nouvelle propriété. Avec l'entrée dans la pensée formelle et l'élaboration du schème spatial de compression, l'enfant coordone de manière rationnelle la densité *« comme un rapport entre la masse interne et le volume apparent »* (p.184).

1.5.2.4 – Autres concepts physiques importants : force et matériau

Un cadre conceptuel mobilisant la notion de force - Une large majorité d'études sur la flottaison ne vise à étudier que le développement par l'enfant des notions de masse, volume et densité, c'est-à-dire avec l'idée de mener celui-ci à une explication basée sur la densité. En effet, le constat de la variation de la densité des objets, difficile à percevoir de manière sensorielle ou intuitive et de manière distincte de la notion de masse, est plus facile à percevoir à travers l'expérience du bain, situation quotidienne et précoce pour de nombreux enfants. La flottaison des objets est pour le chercheur une situation qui révèle facilement l'intérêt de la notion de densité. C'est aussi pourquoi ce phénomène n'est qu'un prétexte à enseigner ces notions pour bien des chercheurs et éducateurs. L'histoire de la physique prouve pourtant que les concepts de masse, volume ou densité sont loin de suffire à concevoir le phénomène, et que l'idée de forces exercées entre l'objet et le liquide est importante pour saisir le phénomène. Ce cadre conceptuel est enseigné tardivement durant l'adolescence ou à l'âge adulte car on suppose que les notions de masse, volume et densité, doivent d'abord être comprises par l'enfant, puisqu'elles permettent de faire le calcul des forces exercées. Cependant, de même que la notion de densité n'émerge pas seulement une fois que masse et volume sont distingués, les notions de forces font déjà partie implicitement du répertoire conceptuel des enfants lorsqu'ils découvrent ces notions, et notamment avec le préconcept de « lourdeur ». Ils ont conscience par exemple très tôt de forces que peut exercer l'eau du fait de son courant ou de ses vagues. Piaget (1927) note que dans le cas de la flottaison, la référence à une force de l'objet ou de l'eau peut bien souvent se comprendre comme l'usage du préconcept de « lourdeur » de l'objet.

L'importance du matériau – Les premières conceptions sont souvent basées sur des concepts que l'enfant se représente comme des objets concrets ou sous un aspect substantiel. Par exemple l'électricité est mentalisée comme un circuit d'eau. Ces supports objectifs des concepts enfantins peuvent constituer un frein à leur élaboration plus abstraite (Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000). Inversement, certains concepts constituent des contraintes préalables au développement d'autres concepts. Ainsi l'état de la matière (solide, liquide, gazeux) joue un rôle important pour d'autres concepts physiques : l'enfant pense longtemps que les gaz n'ont pas de masse ou que les solides ont plus de masse que les liquides. L'idée de matériaux différents est tôt développée chez l'enfant (Au, 1994). Elle constitue un concept essentiel pour catégoriser la matière et distinguer des propriétés spécifiques. Le matériau est souvent employé par les enfants pour penser les concepts quantitatifs de masse ou de volume. C'est notamment le cas pour concevoir de manière précoce la densité des objets à partir de leurs matériaux. Par exemple le bois est présenté comme moins lourd que le fer (Piaget, 1927 ; Piaget & Inhelder, 1941). Il s'agit d'une caractéristique externe, captée par la perception, et qualitative, qui n'implique donc pas de comparaison métrique ou quantitative. Selon Au (1994), dès 3-4 ans, le concept implicite de « matériau » est appliqué en supposant que tout matériau est homogène. Cette supposition est pratique afin de penser la constitution des objets : une partie d'un matériau est pensée comme identique à toute autre partie de ce même matériau. L'enfant peut donc leur donner les mêmes attributs physiques (couleur, masse, volume, densité…). Penser les objets en termes de matériaux présente donc des avantages cognitifs pour les enfants, et explique leur usage précoce.

1.5.3 – Le rôle de l'expérience matérielle dans le développement des notions de densité et de volume : l'étude de Brainerd et Allen (1971)

Objectif – Les études de Piaget ne permettent pas de mesurer l'importance des interactions avec l'environnement physique. Partant du développement progressif de la conservation à travers les opérations concrètes puis formelles (Piaget & Inhelder, 1941), Brainerd et Allen (1971) étudient l'apprentissage de la conservation de la densité chez 40 enfants non-conservants de 10 ans. Contrairement aux études de Piaget, considérées trop descriptives du fait qu'on infère l'évolution des concepts avec des enfants d'âges différents (méthode transversale), les chercheurs effectuent une expérience afin de savoir si la rencontre répétée des phénomènes physiques sur une courte période de temps explique le développement de concepts de physique chez ces individus.

Méthodologie – Comment savoir si la masse et le volume sont clairement distingués par l'enfant et si la densité est bien acquise ? Les auteurs, reprenant le principe des tâches de conservation, constatent que si on montre un objet dense qui coule et qu'on le réduit systématiquement (en masse et volume à la fois) en demandant à l'enfant si l'objet va couler ou flotter, on obtient des réponses différentes selon qu'ils conservent ou non la densité de l'objet. Pour l'enfant non-conservant, vient un moment où l'objet est suffisamment petit ou léger pour flotter. De plus, il invoque souvent la forme de l'objet. Pour le conservant, cela n'arrive jamais et l'enfant continue de penser que l'objet coule. Pour lui, la forme n'est pas pertinente et n'intervient plus dans ses explications. En pré- et post-tests, les chercheurs utilisent trois tâches successives et contrebalancées qui permettent d'estimer si l'enfant maîtrise les concepts de densité et de volume des objets. Dans la tâche de conservation des densités, ou tâche de

flottaison, l'enfant doit, après avoir constaté qu'une boule de pâte à modeler coule, prédire et justifier si cette boule va flotter ou couler une fois réduite des trois quarts ; on réduit à nouveau la boule en suivant les mêmes consignes ; enfin on demande à l'enfant à partir de quelle réduction de cette boule, elle flottera. Dans une tâche d'évaluation des volumes de solides, calquée sur les expériences piagétiennes, l'enfant place une boule de pâte à modeler dans un récipient d'eau en notant le niveau de l'eau atteint ; il doit ensuite prédire en justifiant si ce niveau sera supérieur, inférieur ou égal une fois la boule transformée en boudin. La tâche d'évaluation des volumes de liquides est proche de la tâche piagétienne de la conservation des quantités de liquide (Piaget & Szeminska, 1941), avec des transvasements de liquide dans des verres de formes différentes. La tâche d'entraînement consiste à reprendre par quatre fois successives la première tâche de flottaison, relative au concept de densité. Quatre groupes expérimentaux de 10 élèves subissent cet entraînement, selon que l'enfant peut vérifier ses prédictions ou non (conditions avec ou sans feedback), et selon l'ordre des couleurs de pâte à modeler (conditions avec stimulus consécutif ou non-consécutif).

Une grille d'analyse simple – L'enfant non-conservant finit par citer un volume de pâte à modeler pour lequel il y aura flottaison, tandis que l'enfant conservant n'y adhère jamais. Une échelle relativement simple est employée pour coder les justifications et discriminer les niveaux de conservation. Cette échelle a le mérite d'être unique pour les trois tâches et d'être extrêmement solide, mais au prix d'une forte imprécision. Les réponses sont codées en trois catégories : réponses incorrectes ou de non-conservation (« Irrelevant »), réponses basées sur des éléments perceptifs tels que la forme (« Perceptual »), et réponses partiellement adéquates ou adéquates qui impliquent les concepts de contenu, de volume, de masse, de densité, ou des arguments de conservation tels que la réversibilité, l'inversion ou l'identité (« Conceptual »). En outre, pour la constitution d'indicateurs, les deux premières catégories I et P sont codées 0, et les réponses partiellement ou totalement conservatoires de niveau C sont codées 1 et 2.

Résultats – Un léger effet d'apprentissage a lieu dans le groupe contrôle indiquant que la simple répétition de la tâche de flottaison améliore les réponses de conservation de la densité en post-test, à la fois au niveau des prédictions et des explications fournies. Le feedback de la tâche ne suffit donc pas à expliquer les éventuelles progressions des autres groupes d'enfants. Le facteur « couleur » n'a pas d'incidence sur les performances. En revanche, il y a bien des effets contrastés selon que les enfants s'entraînent avec ou sans feedback de l'objet et selon les tâches utilisées en pré- et post-test. L'effet d'apprentissage est important lorsque l'enfant prédit et observe la réaction effective de l'objet, c'est-à-dire lorsqu'il obtient un feedback de la tâche. La proportion d'enfants non-conservants diminue alors de moitié pour la tâche de flottaison (ou tâche de conservation des densités). Comme il s'agit justement de la tâche utilisée pour l'entraînement, il n'y a rien de surprenant à ce que ces enfants aient profité de leurs observations, pour améliorer la prédiction et la justification du phénomène. Ces enfants améliorent aussi leurs performances dans la conservation des volumes de solide. L'entraînement avec feedback amène une évolution cognitive transférable sur des tâches différentes : l'apprentissage semble plus profond et consistant. Cependant ces deux tâches, de flottaison et de conservation des volumes de solides, utilisent le même matériel, de la pâte à modeler et des récipients remplis de liquide. Ces deux tâches entretiennent plus de proximité matérielle que la tâche de conservation des liquides où n'intervient plus la pâte à modeler mais seulement des liquides transvasés. Les auteurs concluent à un effet de généralisation *inter*concepts : l'extension de l'effet d'apprentissage d'un concept formel (la densité) à d'autres concepts (le volume). Selon eux, la tâche de densité

mobilise des coordinations d'opérations mentales qui sont propices à l'utilisation d'opérations plus basiques. Ce résultat est cependant à prendre avec précaution car il montre que les proportions d'enfants non-conservants diminuent et non que des enfants ont acquis une certaine conception de la densité. De plus, il est difficile de savoir si l'enfant pense la densité de manière intuitive ou au sens rationnel du physicien. Cette intuition, pour être rationalisée ou mieux maîtrisée, nécessite de l'enfant qu'il combine la notion de masse avec d'autres facteurs comme le contenu, la forme, la matière ou le volume de l'objet (Piaget & Inhelder, 1941).

Conclusion – Brainerd et Allen (1971) montrent que l'enfant élabore une compréhension de la notion de densité du fait de la répétition des tâches. Il élabore une meilleure maîtrise de cette notion et une articulation avec le concept de volume du fait de pouvoir prédire et justifier les réactions physiques prévues et du fait d'effectuer des vérifications. Une notion intuitive de la densité, pourrait amener l'enfant à re-élaborer la notion de volume qui lui permettrait peut-être en retour de repenser la densité de manière plus formelle. Il convient cependant de relativiser ces résultats car la tâche amène l'enfant de 10 ans à développer des conceptions en termes de densité. L'expérimentation ne fait varier que quelques aspects de la tâche, alors que l'univers de l'enfant concernant le thème de la flottaison est riche et multifactoriel. Dans ces situations expérimentales, proches des situations pédagogiques mises en place par l'adulte, l'enfant se saisit donc de changements spécifiquement contrôlés sous ses yeux pour expliquer le phénomène. La tâche est autrement plus difficile pour l'enfant confronté à un phénomène dont les éléments sont nombreux et concomitants. L'expérience confirme que l'évolution des concepts est favorisée par l'expérience du sujet, mais contrôlée par l'adulte, plutôt que par une élaboration purement interne, et que ces progrès cognitifs se propagent à d'autres concepts relatifs.

1.5.4 – Le développement est spécifique : le courant « conceptual change »

Concepts, conceptions, misconceptions – Dans une approche constructiviste, l'approche *conceptual change* (Carey, 2009 ; diSessa, 2006 ; Spada, 1994 ; Thagard, 2003 ; Vosniadou, 2007) étudie l'évolution des concepts. Ce courant s'inspire de la théorie piagétienne et de la théorie des révolutions scientifiques (Kuhn, 1962) : des changements conceptuels apparaissent parfois, lorsque les individus rencontrent un certain nombre d'incohérences ou de faits contradictoires qui mettent en difficulté les théories établies. Par exemple, l'enfant va d'abord penser que la Terre est plate et surmontée de l'espace, puis il va élaborer une représentation où la Terre reste plate mais est entourée d'espace (Vosniadou & Brewer, 1992). La conception apparaît comme un système structuré par des concepts, qui peuvent évoluer et faire évoluer la conception dans son ensemble. Les changements lorsqu'ils se produisent indiquent à la fois si l'enfant progresse vers une conception scientifique, et ce qui a été modifié au niveau des concepts pour pouvoir engendrer une restructuration. Or, ces concepts font obstacle par moment au changement conceptuel. En effet, l'enfant dispose dans certaines périodes de conceptions erronées du point de vue scientifique, mais qui sont résistantes au changement. Le changement conceptuel est un processus qui vise à faire passer l'enfant de conceptions erronées à des conceptions scientifiquement acceptables. (diSessa, 2006). L'intérêt du courant *conceptual change* pour cette recherche est de pointer certaines limites que les prochains chapitres tentent de résorber. Après avoir présenté une étude centrale de ce courant, utile pour étudier la compréhension de la flottaison, nous reviendrons sur ces remarques à propos du développement cognitif.

La cognition générale ou spécifique – L'approche piagétienne considère un développement *nécessaire*. Autrement dit, quelles que soient les tâches et performances de l'enfant, le sujet épistémique piagétien est décrit dans son fonctionnement le plus universel, au niveau d'un enchaînement précis des idées. Piaget décrit une logique interne du développement des connaissances, qui semble cohérente, et que les expériences de l'individu ne peuvent que ralentir ou accélérer. La cognition au sens piagétien a un domaine général. L'enfant développe progressivement une structure cognitive et des concepts qu'il applique de manière générale dans des problèmes de physique. Or par exemple, de nombreux adultes qui connaissent les concept de masse ou de densité ne les utilisent pas pour expliquer certains phénomènes ou s'appuient sur d'autres concepts (Cole et Raven, 1969 ; Winner, Craig et Weinbaum, 1992). Ou encore, certaines performances supposent des connaissances plus implicites et d'autres des connaissances explicites. C'est pourquoi certaines théories présentent des mécanismes restreints. Dans le courant *conceptual change*, la connaissance s'élabore par domaines spécifiques, c'est-à-dire dans des activités particulières, plutôt que par un assemblage structurel général. Les concepts doivent être étudiés dans les différentes tâches qui les mobilisent ainsi que dans la variété des tâches impliquées. Ce processus long et multidimensionnel assure un développement de concepts spécialisés et d'autres plus généralisés. Les concepts ne sont jamais isolés et abstraits mais toujours intégrés dans des structures conceptuelles qui représentent la réalité et ressemblent à de mini théories scientifiques. L'enfant compose avec l'élaboration de plusieurs conceptions de manière parfois parallèle et parfois successive. En effet, lorsqu'elles interagissent, certaines conceptions permettent l'élaboration des suivantes, alors que d'autres au contraire les empêchent ou les contraignent. Cette vision nécessite de multiples mécanismes de changement et d'adaptation (maturation nerveuse, imitation, conflit cognitif, développement du langage et de compétences sociales…). Ceci explique des différences inter- et intraindividuelles, et que diverses trajectoires développementales soient possibles. Certaines conceptions ou certains concepts sont communs, mais la façon de les établir peut différer.

Les processus de changement dans le courant conceptual change – Jusqu'à un certain âge, l'enfant peut avoir des difficultés à faire des opérations formelles qui lui permettraient d'assembler deux variables quantitatives. Le courant *information processing*, décrit sans véritablement l'expliquer la coordination par les enfants de concepts, par exemple entre masse et volume pour penser la densité (Leoni & Mullet, 1991). Le courant *conceptual change* montre des changements très divers, qui font évoluer l'enfant de préconceptions vers des conceptions plus scientifiques. Carey (1985) distingue deux façons de penser les changements conceptuels. L'ajout d'informations et de connaissances dans un modèle théorique peut provoquer une restructuration faible (*weak restructuring*). Les concepts ou les contenus sémantiques évoluent et font lentement changer la conception par accumulation ou par affinement. Le changement conceptuel peut aussi survenir du fait que l'individu change plus radicalement de modèle explicatif. La restructuration est alors plus profonde et mobilise même la modification des éléments (*strong restructuring*). C'est l'option retenue par Carey et Smith (Carey, 1985 ; Smith & Carey 1985), et qui est la plus novatrice. Vosniadou (2007) rappelle cependant que depuis l'origine du courant, il a fallu revenir vers des modes de changements plus lents. Alors que Piaget décrit *plutôt* une différenciation lente et progressive des concepts, le courant *conceptual change* implique une variété de changements. Carey (1993) en distingue trois types qui se retrouvent dans l'évolution des concepts de masse, volume ou densité :

- la différenciation consiste à diviser un concept en deux concepts distincts. C'est par exemple le cas lorsque les enfants disposent du concept indifférencié de « poids » et distinguent à partir d'un certain âge « masse », « force » et « densité ».
- la coalescence implique de rassembler des concepts jusque là séparés dans un seul concept. C'est ainsi que le jeune enfant qui pense la lourdeur et la légèreté de l'objet peut les regrouper sous le concept de masse. Il passe de deux notions intensives à une notion extensive de la masse.
- la mise en relation de propriétés singulières ou coordination conceptuelle. C'est par exemple le cas de la densité telle que pensée en termes de physique, qui utilise la mise en relation de la masse et du volume.

1.5.5 – La différenciation de la masse et de la densité : l'étude de Smith, Carey et Wiser (1985)

Objectif – Smith et al. (1985) montrent que l'enfant a une utilisation différente du concept selon la tâche. Ils tentent d'appréhender la manière dont l'enfant différencie les concepts de masse et densité, en s'appuyant sur la connaissance du matériau. Leur objectif est de savoir si le développement de ces concepts a lieu au sein d'une pseudo-théorie des matériaux, et si cette structure conceptuelle est réorganisée par moment. Le schéma piagétien est certes celui d'une différenciation progressive, avec une évolution relativement tortueuse et faite de multiples changements de concepts. Cependant, Piaget et Inhelder (1941) n'indiquent pas précisément si l'enfant, qui confond d'abord la masse et la densité, les différencie ensuite simultanément ou si l'un est mis en place avant l'autre. De plus, ces chercheurs considèrent qu'il n'y a qu'un type de connaissance, et que l'aspect intuitif ou verbal n'est pas fondamental. Ce dernier point est plus contestable à notre avis.

Méthode – Comme l'enfant développe tôt une notion intuitive de la densité en termes de masse spécifique selon les matériaux (Piaget, 1927), les chercheurs interrogent leurs participants en utilisant des termes similaires : ils leur parlent de « matière lourde » ou « d'objets faits de matière plus légère ». Les participants ont entre 3 et 9 ans. Quatre études permettent de comprendre comment l'enfant différencie les notions de masse, de masse spécifique et de densité, à la fois verbalement et non-verbalement. La première étude vise à étudier les concepts de masse et de volume. Les enfants comparent des cubes et des cylindres qui varient systématiquement en masse, volume, et donc densité : ils estiment verbalement la lourdeur et la taille des objets ; pour la tâche non-verbale, ils doivent placer ces objets dans une boîte qui est parfois trop petite (volume) ou pointer ceux qui peuvent faire s'écrouler un pont miniature en mousse sur une figurine située en dessous (masse). Dans la deuxième étude, les chercheurs étudient la distinction des concepts de masse et de densité. Les enfants rencontrent des cubes similaires mais faits de fer ou d'aluminium, qu'ils doivent nommer selon qu'ils sont faits de matière lourde ou légère. Pour la masse, ils doivent estimer la lourdeur, et distinguer les cubes qui vont déformer le pont en mousse ; pour la tâche non-verbale sur la densité, les enfants doivent classer les cubes en deux catégories selon qu'ils sont faits de métal « lourd » ou « léger », et pour la tâche verbale ils doivent distinguer les objets selon les types de métal. Dans la troisième étude, les enfants doivent distinguer des objets en fonction de la masse, puis de la densité spécifique, puis choisir un objet de matière différente mais de même masse qu'un cube de référence. Enfin la quatrième étude prévoit des entretiens structurés à propos des matériaux et de la matière.

A 3-4 ans, les enfants distinguent la masse et le volume, mais la densité est absente – Dès 3-4 ans les enfants distingueraient la masse et le volume des objets, sans les confondre. L'idée de « masse » signifie alors pour eux que l'objet est senti comme plus ou moins pesant et que cette caractéristique des objets peut avoir une influence physique extérieure. Par exemple le poids d'un objet implique qu'il peut déformer un autre objet. Ils parviennent donc implicitement à s'appuyer séparément sur la masse ou le volume de l'objet pour répondre à des tâches spécifiques (placer un objet dans un autre ou faire se déformer un objet tiers). A cet âge, ils disposent aussi de mots distincts. Enfin, la masse et la taille de l'objet impliquent des dispositions sensorielles distinctes : la masse est évaluée en soulevant les objets. Les enfants savent donc tôt distinguer les objets en fonction de leur masse et de leur volume bien qu'ils en aient une compréhension encore peu explicite. A cet âge, les liens entre masse et volume commencent tout juste à s'établir. Ceux qui le font ne conceptualisent qu'une relation floue. Enfin, la notion de densité semble totalement absente, puisque ces enfants se basent uniquement sur leur perception que l'objet est ressenti comme pesant, dans des tâches verbales ou non-verbales. Il semble donc que l'enfant de 3-4 ans ne dispose ni d'une compréhension implicite de la densité, ni du concept de densité.

Entre 5 et 7 ans, une indifférenciation entre masse et densité - Entre 5 et 7 ans environ, les enfants ont encore une notion de la masse en tant que « lourdeur », mais ajoutent en plus la notion de « lourd pour la taille », qui est une préconception de la densité. Ces deux approches de la pesanteur, « lourdeur » et « lourdeur pour la taille » (ou masse absolue et masse relative), ne sont cependant pas détachées. C'est donc durant cette période que les enfants ont une notion indifférenciée de la masse et de la densité. De plus, la notion de matériau est plus présente et est associée à l'idée de poids spécifique : le poids des objets peut être comparé en fonction du matériau. La notion de lourdeur devient donc relative et permet des comparaisons entre des objets ou en fonction d'un porteur, etc… La notion de « lourd pour la taille » n'est qu'une façon parmi d'autres de relativiser la lourdeur des objets. De même les matériaux ne sont qu'une nouvelle catégorie, un moyen de classer et de parler de l'objet : les objets en bois sont durs et légers, les objets en fer sont durs et lourds… Ils sont une nouvelle façon de relativiser la lourdeur des objets par l'idée de masse spécifique.

Entre 8 et 9 ans, la masse comme propriété de l'objet – Entre 8 et 9 ans, certains enfants parviennent à considérer la masse comme une propriété qui est fonction du matériau et de la quantité de matière. Dans la tâche de la densité, ils utilisent l'idée de « masse en fonction de la taille » et soutiennent que tout objet a une masse. La masse devient donc une propriété de la matière mais comme ils n'ont pas encore développé d'idée quantitative du volume, la notion de « lourdeur pour la taille » n'est pas quantifiable, ni clairement continue.

Une différenciation peu continue de la masse et de la densité – Smith et al. (1985) apportent un éclairage important. L'évolution est un plus complexe que celle entrevue par Piaget et Inhelder (1941). Les plus jeunes pensent uniquement en termes de masse ou de volume mais pas de densité car ils n'ont pas de disposition perceptive pour cela. La masse et la densité ne sont pas confondues dès les premières années. Au contraire, la masse et le volume semblent tôt distingués, à la manière de l'enfant. Il est difficile de dire avec cette étude que l'enfant a acquis la notion de masse, mais il s'en rapproche avec un concept relativement proche sans doute de « lourdeur ». Il en va de même pour le volume. Lorsqu'il commence à relativiser certains

concepts, l'enfant peut parvenir à une étape d'apparente indifférenciation des concepts, comme s'il introduisait de la confusion dans ses concepts en fonction des tâches à résoudre. La différenciation des concepts parait donc moins progressive que ne le suggèrent Piaget et Inhelder (1941). De plus, la distinction entre la masse absolue et la lourdeur en fonction de la taille a lieu en fonction des faits empiriques. L'enfant constate régulièrement des contradictions quand il rencontre un objet dense mais peu lourd, ou un objet fait d'une certaine matière de poids spécifique… Cette expérience des contradictions empiriques a peu de chance de provoquer à elle seule une différenciation idéale en deux concepts distincts mais amène plutôt l'enfant à relativiser divers facteurs par d'autres.

La compétence de l'enfant dans la période d'indifférenciation – Selon Carey (1993), une fois ces fonctionnements particuliers isolés chez l'enfant, se pose la question de savoir comment l'enfant utilise une notion indifférenciant la masse et la densité. En effet, il ne se base auparavant que sur les notions de masse et de volume, et doit ensuite tenir compte de la masse, du volume et de la densité. Mais durant cette période d'indifférenciation des concepts de masse et de densité, il faut comprendre l'enfant en fonction des problèmes posés. L'enfant a appris à relativiser occasionnellement certains des concepts qu'il maîtrise. Il en a diverses utilisations possibles qui correspondent pour l'expert à des concepts différents. L'enfant qui commence à maîtriser le concept de masse peut ainsi le relativiser par d'autres, par exemple en fonction de la matière ou du volume. Souvent, les problèmes du quotidien ne lui demandent que d'utiliser un de ces concepts. Il utilise uniquement la masse absolue ou encore la masse relative. Dans certaines tâches, deux concepts ou plus doivent être invoqués qu'il s'agit de différencier ou de coordonner. C'est le cas par exemple lorsqu'il doit interpréter la densité en fonction de la masse ou l'inverse pour résoudre le problème. Durant la période de confusion, entre 5 et 7 ans selon l'étude de Smith et al. (1985), la variable masse fait ainsi intrusion dans la tâche de discrimination des objets selon leur densité ou inversement, l'enfant utilise l'idée de masse relative pour discriminer des objets selon leur masse absolue. Il y a alors une apparente indifférenciation. Ce n'est que dans la période suivante qu'il différenciera les concepts comme deux façons d'appréhender la matière.

Des structures théoriques – L'une des innovations de l'étude consiste à prendre en compte le fait que l'enfant dispose de mots pour désigner des concepts mais aussi d'habiletés non-verbales. L'analyse en parallèle de ces deux types de compétences, verbales et non-verbales, permet de mieux comprendre que l'enfant dispose de structures conceptuelles au sein desquelles évoluent les concepts. Leur évolution apparaît moins ordonnée que ne le pensent Piaget et Inhelder (1941) ce qui peut engendrer de nouvelles difficultés ou des conceptions erronées. Enfin ces structures semblent beaucoup plus dépendantes des situations rencontrées par les enfants que ne le présente la théorie piagétienne.

Résumé du chapitre 1

Au cours de l'ontogenèse, l'enfant développe des compétences et connaissances sur la flottaison des objets.
- Il apprend précocement à prédire le phénomène et à percevoir des régularités de l'environnement qui sont déterminantes du phénomène (Kohn, 1993).
- Il apprend à élaborer des explications causales, d'abord subjectives puis de plus en plus limitées à une causalité physique.
- L'enfant recourt d'abord à plusieurs schèmes qui évoluent ensuite en concepts (Piaget, 1927). Une concentration s'opère sur certains concepts d'abord présentés de manière incohérente et dynamique avant de devenir des concepts distincts à propos de l'objet. Parmi eux, l'enfant élabore les concepts de masse, de volume et de densité. Il parvient assez tôt à distinguer le concept de masse, qu'il commence à relativiser autour de 5 ans, ce qui provoque une période de confusion possible entre « lourdeur de l'objet » et « lourdeur pour la place occupée » (Smith et al., 1985). La notion de densité spécifique, en fonction de la matière, et de contenu de l'objet se développe ensuite. Finalement l'enfant peut coordonner les concepts de masse et de volume dans des tâches complexes comme la conservation de la masse ou du volume (Piaget & Inhelder, 1941).

Le rôle de l'expérience matérielle a des implications sur ces compétences conceptuelles (Brainerd et Allen, 1971). Cela confirme que le concept intuitif ou formel de la densité associant les concepts de masse et de volume comme propriétés internes à l'objet, est tardif et nécessite des interactions matérielles voire sociales et langagières (Halford, Brown & Thompson, 1986). C'est pourquoi le développement des concepts serait dépendant des conceptions qui les mobilisent, et plus encore des situations d'élaboration : à une vision linéaire de l'évolution des concepts s'oppose une approche multilinéaire avec de nombreux obstacles.

L'approche constructiviste inspire les principes suivants :
- Les concepts constituent un outil cognitif indispensable pour penser la réalité physique.
- L'enfant construit et re-structure des concepts en fonction de connaissances préalables et de nouvelles expériences (ce qui pose un doute sur l'existence de concepts collectifs véritablement communs et univoques…).
- L'enfant a de multiples compétences utiles au développement de conceptions physiques (prédire, manipuler, expliciter, modifier des connaissances antérieures…). Les relations qu'entretiennent ces habiletés sont mal connues dans le modèle constructiviste.
- Les mécanismes de changement sont multiples pour donner forme à des systèmes cognitifs originaux et des connaissances « individuelles ».

Tableau 3 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 1

	Référence	**Aspect central**	**Résultats principaux**
Compétences précoces	Kohn (1993)	Développement d'une causalité intuitive basée sur la perception des changements extérieurs	Dès 3-4 ans, l'enfant parvient à prédire la flottaison des objets qui varient en densité, masse et volume
	Halford, Brown & Thompson (1986)	Développement d'une coordination des caractéristiques masse et volume pour comprendre la flottaison des objets	Entre 7 et 13 ans, l'enfant se base sur la masse pour expliquer la flottaison des objets. Suite à des expériences, il peut remettre en cause cette notion, et combiner la masse et le volume à l'adolescence
Développement de la causalité	Piaget (1927) ; Piaget & Chatillon (1975)	Développement d'une causalité conceptuelle permettant de réguler l'action du sujet et de renforcer ses capacités prédictives	La causalité conceptuelle se développe au cours de quatre stades qui permettent à l'enfant de se concentrer sur certains aspects matériels perçus intuitivement, de les caractériser et de les coordonner
Développement des concepts	Piaget & Inhelder (1941)	Développement des opérations mentales basées sur la matière, la masse et le volume, reconstruit par le sujet à partir de concepts égocentrés sur son expérience sensible.	La coordination des actions de l'enfant permet des opérations concrètes : à partir de l'idée de quantité de matière, l'enfant élabore ses propres concepts subjectifs qui permettent ensuite de distinguer une masse constante et un volume constant de l'objet.
	Brainerd et Allen (1971)	Développement conceptuel du fait de l'expérience matérielle selon qu'elle renvoie ou non des feedbacks.	Autour de 10 ans, par un entraînement concret répété, l'enfant améliore ses opérations conceptuelles pour prédire et expliquer ; le feedback de la tâche l'aide à réélaborer les notions de densité et de volume.
	Smith et al. (1985)	Développement des concepts de masse, volume et densité non-linéaire ; des périodes de confusion des concepts.	Avant 5 ans, l'enfant est capable de distinguer les changements en masse et en volume de l'objet ; autour de 5 ans, il a une notion confuse de masse et de masse en fonction du volume ; puis il distingue la densité des objets en fonction des matériaux.

CHAPITRE 2 – LE ROLE DES MEDIATIONS MATERIELLES, SOCIALES ET INSTRUMENTALES DANS L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

Les travaux socioconstructivistes permettent de situer le développement de la pensée dans un contexte social et matériel. Ce cadrage indique des conséquences psychologiques, que l'enfant soit en situation individuelle ou collective. En effet, le travail de construction intellectuelle de l'enfant ne se situe pas hors de toute situation. En particulier, le processus de décentration qui amène l'enfant à restructurer ses connaissances peut être impliqué par le contexte. La rencontre de l perspective d'autrui favorise ce processus. Mais s'il ne peut interagir avec un partenaire, l'enfant dispose encore d'objet et d'outils à sa disposition. Après une présentation de l'approche socioconstructiviste, le rôle des interactions avec l'objet sera présenté, puis celui des interactions entre pairs, puis celui des interactions avec les outils.

2.1 – Vers la construction sociale des conceptions scientifiques

Les approches constructivistes et socioconstructivistes entretiennent des liens étroits plutôt qu'une opposition radicale. Deux principales critiques sont faites à l'approche piagétienne. Nous verrons la manière dont l'approche socioconstructiviste les comble.

2.1.1 – Piaget avait presque raison…

Une approche logiciste – L'approche piagétienne pense un développement des concepts de plus en plus adapté à une norme logique, du fait de l'équilibration des structures. Malgré toute son attention aux spécificités de l'enfance, cette vision insère la logique classique comme norme universelle (Houdé, 1993). Il admettra tardivement et de manière rapide, que la logique à laquelle il se réfère est un outil d'appréhension de la réalité. Or, utiliser des formes de logique pour expliquer le développement influence à penser un enfant de plus en plus rationnel. Mais le développement conceptuel peut suivre des pistes différentes. Aussi le phénomène physique peut-il être pensé avec d'autres modèles épistémiques.

Une approche individualiste – Une autre remarque est l'absence de prise en compte des facteurs sociaux sur le développement cognitif. Piaget a pourtant analysé le développement du langage (1923a, 1923b), mais plutôt en tant que conséquence du développement cognitif et non comme moyen de penser. Le langage pour Piaget traduit le fait que l'enfant a acquis une connaissance commune du monde. Progressivement, l'enfant parvient à construire des connaissances également élaborées par d'autres, et qui peuvent être partagées. Le contexte social apparaît comme une condition nécessaire mais non suffisante du développement cognitif (Piaget, 1947, 1970). Le modèle de Piaget est basé sur les interactions entre le sujet et l'objet, entendu

aux sens matériel et conceptuel, et les nécessités psychologiques de cette rencontre. Ceci implique une limite du rôle de l'éducation. Sa théorie répond peu aux question de l'adulte et de l'éducateur : *« Comment enseigner des concepts ou soutenir le développement de l'enfant ? »*.

2.1.2 – Introduction à l'approche sociohistorique de Vygotski

Des fonctions psychologiques spécifiques de l'être humain – La théorie historico-culturelle ou sociohistorique de Lev S. Vygotski (1930/1978a, 1935/1978b, 1934/1997) constitue le fondement principal des approches socioconstructivistes du développement. Selon cet auteur, le développement cognitif n'est pas continu mais marqué par des changements qualitatifs importants. Le développement débuterait à partir de fonctions cognitives élémentaires, largement héritées de la phylogenèse et communes à de nombreuses espèces. Certains changements vont propulser le développement d'une pensée spécifique à notre espèce : les *fonctions cognitives supérieures*. Ces fonctions concernent l'interprétation, la pensée symbolique, l'élaboration de dispositifs instrumentaux complexes, la logique, l'imagination… *« In this context, we can use the term higher psychological function, or higher behavior as referring to the combination of tool and sign in psychological activity »* (Vygotski, 1930/1978a, p.55).

La médiatisation de la pensée – Comment expliquer un changement radical de la pensée ? Dans une approche vygotskienne, certains éléments restructurent la cognition. En particulier, ce sont des médiations sociales et sémiotiques (signes, outils…) qui façonnent les fonctions mentales supérieures. A l'instar des outils qui nous permettent d'agir sur le monde matériel, ces médiations sont des signes et symboles organisés en systèmes, qui permettent d'agir sur les habiletés psychologiques élémentaires et participent à la naissance d'une pensée abstraite et de la conscience. Ces signes et symboles ne sont pas des produits naturels, mais sont élaborés historiquement et collectivement par l'humanité. Au sens le plus large, ces médiations concernent les interactions entre individus, le langage, les outils, les conventions sociales et culturelles. C'est en ce sens que cette vision de la psychologie, largement basée sur ces entités culturelles observables, est présentée par Vygotski comme une psychologie concrète. D'autres chercheurs parlent également de « cognition située » (Lave & Wenger, 1990). La façon d'étudier ces entités a donné lieu à plusieurs courants de pensée (voir Figure 1).

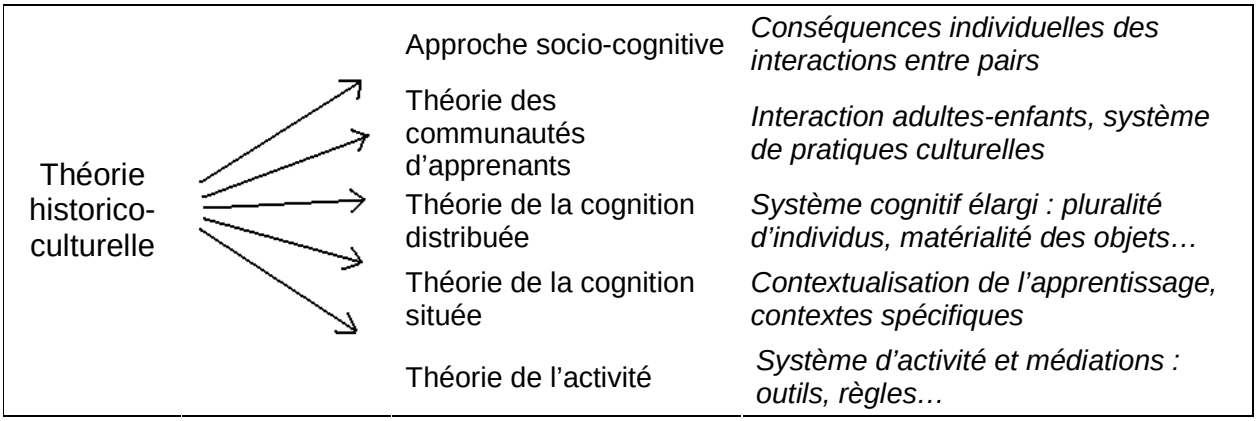


Figure 1 – Les diverses perspectives théoriques basées sur l'approche vygotskienne

Des processus spécifiques – Certains processus de développement seraient plus spécifiques à l'espèce humaine. Les processus d'*appropriation*, d'*internalisation* et d'*extériorisation* rendent compte des modifications cognitives et du fonctionnement psychologique supérieur. Ces processus (que nous reprendrons dans la section 4) ne présupposent pas un individu passif dans un milieu social qui donnerait des moyens de pensée, mais un individu actif qui rencontre ces moyens sociaux, se les approprie ou les intériorise, et les réinvestit en participant aux activités humaines. Ces processus peuvent amener une restructuration des processus psychologiques, que l'on observer en toute situation : *« toutes les fonctions mentales supérieures sont des relations sociales intériorisées... […] Même les processus mentaux (internes, individuels) conservent une nature quasi-sociale. Dans leur propre sphère privée, les êtres humains conservent les fonctions de l'interaction sociale »* (Vygotski, 1929/1981, p.164, cité par Wertsch, 1985, p.143).

Des niveaux cognitifs imbriqués – De manière générale, on peut appeler *socioconstructivisme*, l'idée que le développement survient de manière constructive et ancrée dans un contexte social. Loin d'être behavioriste, la position vygotskienne focalise sur l'interdépendance entre les processus intrasubjectifs et intersubjectifs. Elle est épigénétique, et rend compte de l'imbrication évolutive d'une part du biologique et du culturel, et d'autre part des niveaux individuels et sociaux. Selon l'approche vygotskienne, la culture s'appuie sur des fondements naturels qu'elle met en conformité avec les buts des individus (Wertsch, 1985, p.140). Les processus sociaux d'élaboration des connaissances ont donc des conséquences individuelles, et inversement l'individu à un rôle de participant actif du processus social d'élaboration des connaissances. Cette double causalité implique un développement en spirale. De même pour Vygotski et ses successeurs, l'apprentissage et le développement interagissent et se remodèlent l'un l'autre (Vygostki, 1935/1978b). Ce cadre peut néanmoins s'assembler à l'approche piagétienne pour donner des pistes à l'éducation (Colburn, 2000 ; DeVries, 2000).

Les concepts spontanés et les concepts scientifiques – L'approche vygotskienne des concepts diffère de l'approche piagétienne. Vygotski (1934/1997) décrit une interaction entre l'enfant et le monde culturel. L'enfant rencontre donc concrètement des objets culturels, des outils, des coutumes, du langage… Il considère deux types de concepts (Vygotski, 1934/1997 ; Karpov, 2009). Le *concept spontané* est issu de la généralisation par l'individu de son expérience. Par exemple, l'enfant élabore l'idée que certains objets sont plus forts que d'autres. Ce concept est souvent erroné du point de vue scientifique. Cependant, il constitue une base nécessaire pour l'établissement d'un *concept scientifique* ou *historique*, plus élaboré et qui a une origine culturelle. Par exemple, la notion de force au sens de la physique est un produit de l'histoire des sciences. Le concept scientifique constitue une généralisation de l'expérience collective. Il est acquis individuellement par apprentissage, dans un système éducatif organisé dans ce but. Etant extrêmement élaboré et abstrait, ce concept est difficile à acquérir : le langage ne permet pas de les présenter exhaustivement. L'enfant le comprend donc peu à peu en restructurant ses concepts préalables. Ainsi, il développe des concepts plus élaborés et maîtrisés qui lui permettent de penser le monde en se distanciant de ses propres impressions. Une difficulté de l'apprentissage vient du fait que les enfants doivent s'approprier par eux-mêmes des moyens et des procédures pour les acquérir ou les mobiliser. En effet selon Gredler (2009), le développement du concept scientifique au sens vygotskien est le suivant : au niveau initial, l'enfant n'a qu'une appréhension directe et syncrétique du phénomène à conceptualiser qui lui permet de percevoir des complexes conceptuels ; puis le contrôle des médiations symboliques ou instrumentales et des stimuli

extérieurs lui permet d'élaborer des pseudoconcepts ; l'intériorisation l'amène ensuite à reconstruire de manière interne les stimuli et médiations externes, ce qui permet une pensée conceptuelle ; enfin l'enfant peut investir ces concepts dans des activités auto-organisées et d'autres raisonnements.

Perspectives critiques – Les propositions de Vygotski ont été critiquées (Van der Veer & Van Ijzendoorn, 1985). Il néglige que l'enfant est à la naissance, dans une période socialement active. La focalisation sur le langage verbal masque une évolution plus large et multimodale de la communication qui inclut les gestes, l'attention conjointe et des compétences pragmatiques qui participent au raisonnement (Bruner, 1983 ; Guidetti, 2003 ; Van der Henst, 2002). La régulation de l'action extériorisée a été mieux étudiée par la théorie de l'activité (Leontiev, 1975).

2.1.3 – Le cadre des activités de l'enfant

L'enfant et l'adulte – Les travaux d'inspiration vygotskienne mettent souvent l'accent sur les interactions entre l'enfant et l'adulte, comme soutien de l'apprentissage et sur l'importance de la participation de l'enfant à ces systèmes d'activité culturels (Leontiev, 1975 ; Rogoff, 1998). Ces travaux ne s'opposent pas nécessairement à une approche constructiviste des explications causales. Les adultes soutiennent l'appropriation de conceptions physiques, parce qu'ils délivrent régulièrement des explications à l'enfant (Bovet, Parrat-Dayan & Vonèche, 1985 ; Rappolt-Schlichtmann, Tennenbaum, Keopke & Fischer, 2007). La notion d'*étayage* (Wood, Bruner & Ross, 1976) montre que l'adulte peut aussi organiser l'activité pour un enfant qui ne serait pas capable sans cette aide d'apprendre à résoudre la tâche. Ainsi, Freudenthal (1977) décrit les échanges à propos de la flottaison entre un adulte et un enfant de 5 ans. Au fil des mois, l'enfant acquiert bien des informations auprès de l'adulte. Cependant, l'adulte le guide aussi dans ses expériences. L'enfant réinvestit ces connaissances dans de nouvelles explications spontanées, de nouvelles questions, et de nouvelles expériences. L'enseignant peut ainsi favoriser le développement d'une démarche scientifique ou de stratégies de raisonnement et l'investissement des rôles que peuvent avoir les scientifiques dans l'élaboration de connaissances (Havu-Nuutinen, 2005 ; Herrenkohl, Palincsar, DeWater & Kawazaki, 1999 ; Lehrer, Schauble, & Lucas 2008 ; Stinner, McMillan, Metz, Jilek & Klassen, 2003). Dans une étude de Perkins et Grotzer (2005), des enfants de 13 ans suivent un cours : certains apprennent à estimer et à représenter la densité de l'objet et à faire des expérimentations ; d'autres suivent une leçon sur l'établissement de liens de causalité. L'ensemble des élèves progresse dans les explications de la flottaison, mais ceux du second groupe donnent de meilleures réponses et des causalités plus élaborées. Le soutien de l'adulte peut donc porter sur des contenus de connaissance, mais également sur des conduites que les enfants s'approprient dans les activités scolaires.

Trois axes socio-cognitifs – Il n'est pas certain que la participation de l'enfant aux activités provoque systématiquement une restructuration profonde des connaissances. En effet, il peut acquérir des réponses spécifiques, limitées aux problèmes rencontrés, plutôt que des moyens de résoudre de nouveaux problèmes. Ainsi des enfants de cinq ans, entraînés à l'école et au musée à manipuler des objets et à justifier leurs observations, développent de meilleures réponses pour expliquer la flottaison, mais n'évoluent pas dans les prédictions (Tenenbaum, Rappolt-Schlichtmann & Vogel Zanger, 2004). De plus, l'adulte peut limiter les progrès cognitifs de l'enfant. Par exemple, Siegel, Esterly, Callanan, Wright & Navarro (2007) montrent qu'il peut

davantage être un modèle dans la compréhension du phénomène de flottaison lorsque la tâche est perçue comme relativement « fermée » (l'enfant doit parvenir à une réponse prédéfinie) ou un partenaire plus égalitaire si la tâche semble plus « ouverte » (plusieurs solutions sont possibles). Enfin, la construction active du sujet n'est pas toujours apparente. Afin de pouvoir comparer les situations solitaires et collaboratives, nous avons retenu trois axes d'analyse du développement socio-cognitif : la relation sujet-objet, la relation sujet-autrui, et la relation sujet-outil (voir Figure 2). La rencontre de l'enfant avec l'objet est notamment présentée par l'approche constructiviste piagétienne et fonctionnaliste inheldérienne. La rencontre avec des pairs est présentée par l'approche sociale génétique. Enfin la rencontre de l'outil comme médiation est présentée avec une approche vygotskienne. Ces axes d'analyse montrent que l'imbrication des plans internes et externe de l'individu intéresse l'approche de Piaget comme celle de Vygotski : ils supposent des réorganisations internes et externes, et la constitution d'un espace de pensée (Marti, 1996 ; Perret-Clermont, 2001). Ces axes permettent une vision distribuée de la cognition (Giere, 2002).

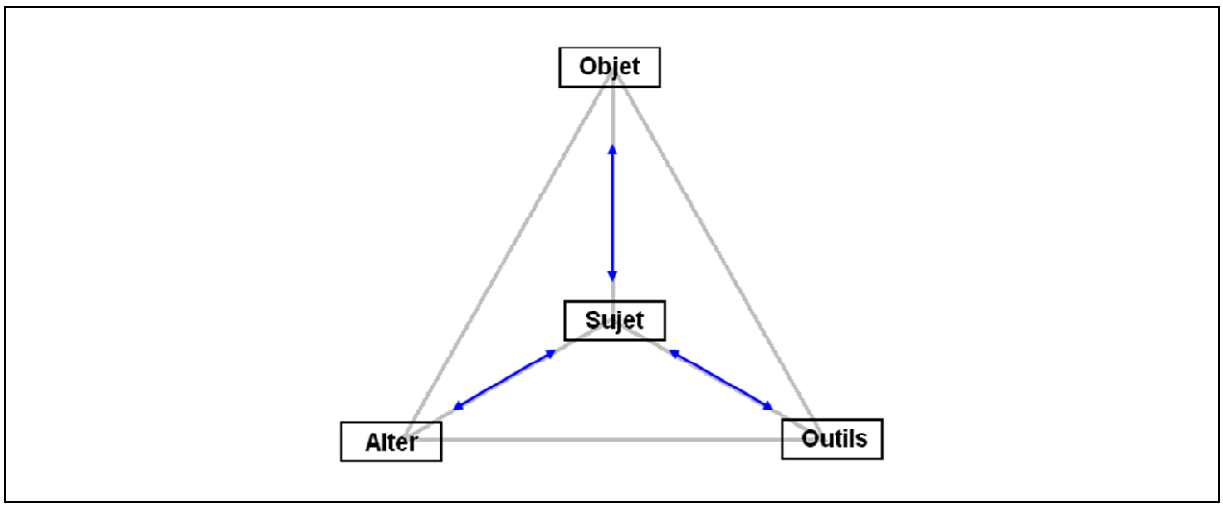


Figure 2 – Le prisme socioconstructiviste : trois types d'interactions socio-cognitives

2.2 – Le rôle initial de la relation sujet-objet

Le travail de Piaget permet d'intégrer un grand nombre de travaux en psychologie. Il s'agit d'une approche cohérente, qui ne se limite pas à l'étude de certaines compétences ou habiletés psychologiques, mais fournit une matrice pour d'autres perspectives. En ce sens, les travaux présentés dans ce chapitre, ne sapent pas les fondements de l'édifice constructiviste piagétien, mais apportent des éléments. En particulier, certains travaux piagétiens analysent finement les interactions de l'enfant avec l'objet matériel. En ce sens, l'objet matériel par ses feedbacks peut être perçu comme un médiateur au développement des connaissances.

2.2.1 – La place des artefacts dans la cognition

L'objet comme contrainte à la pensée – Une des limites des approches basées sur les interactions sociales, est l'oubli de la complexité de l'objet matériel. La théorie des affordances

perceptives (Gibson, 1986) indique des potentialités cognitives dues aux caractéristiques matérielles de l'objet, par exemple un bateau ou une bouteille. Initialement, cette théorie présente les contraintes cognitives dues aux interactions entre les caractéristiques matérielles de l'objet et les capacités cognitives du sujet. Il s'agit de savoir quels aspects physiques de l'objet participent au développement du raisonnement. Par exemple, un objet ayant une forme creuse peut afforder l'idée fonctionnelle de bateau et invite le sujet à inférer que cet objet doit être posé d'une certaine manière pour flotter. Partant de cette théorie, les études récentes confirment que l'action du sujet sur l'objet révèle de nouvelles perceptions de l'objet et de nouvelles catégories perceptives (Borghi, 2005). Il s'agit d'un feedback matériel, qui devient manifeste par l'action du sujet. Par exemple, plusieurs objets ayant une forme de bateau sont déposés sur l'eau et flottent, puis le sujet pose un bateau qui coule brusquement ; un processus heuristique lui fait rapidement remarquer qu'à l'opposé des autres bateaux, cet objet est en métal et pesant. Kloos, Fisher et Van Orden (2010) reprenant l'étude de Kohn (1993) sur les prédictions précoces de la flottaison ont ainsi pu montrer que les performances des jeunes enfants étaient largement influencées par la façon dont la tâche est proposée à l'enfant et rend saillantes certaines dimensions de l'objet. Notamment, l'enfant peut effectuer des comparaisons entre l'objet qu'il a déjà prédit et l'objet suivant qu'il doit prédire. Si on supprime cette possibilité, les performances des jeunes enfants sont beaucoup moins bonnes. La performance est donc largement située.

Actions du sujet et réactions du réel – Pour Piaget l'action organise le rapport du sujet à l'objet : *« L'instrument d'échange initial n'est pas la perception, comme les rationalistes l'ont trop facilement concédé à l'empirisme, mais bien l'action elle-même en sa plasticité beaucoup plus grande. Certes, les perceptions jouent un rôle essentiel, mais elles dépendent en partie de l'action en son ensemble et certains mécanismes que l'on aurait pu croire innés ou très primitifs (…) ne se constituent qu'à un certain niveau de la construction des objets. »* (Piaget, 1970, p. 12). L'auteur s'oppose à une vision empiriste selon laquelle l'accumulation de percepts suffit à expliquer le développement de la connaissance. L'objet selon lui est à la fois un objet matériel ou abstrait (un verre ou le concept de verre) et en même temps l'objet de pensée, visé par la cognition. Dans la seconde moitié de sa carrière, Piaget et ses collaborateurs s'intéressent particulièrement aux implications de l'objet matériel sur la cognition et sur le rôle des interactions sujet-objet. En particulier, l'objet offre des résistances à la pensée, c'est-à-dire des contradictions (Inhelder & Piaget, 1955 ; Piaget, 1974c ; Inhelder, Sinclair & Bovet, 1974).

2.2.2 – L'expérience matérielle et les contradictions du réel

La relation sujet-objet – Brainerd et Allen (1971) montrent que la rencontre répétée avec l'objet suffit à amener des progrès cognitifs. L'idée piagétienne va plus loin : l'enfant trouve dans les objets des problèmes qui impliquent de modifier ses connaissances. C'est pourquoi la méthodologie piagétienne propose aux enfants des situations potentiellement problématiques. L'enfant doit ainsi rendre compte de phénomènes complexes, comme les transformations d'une boule de pâte. Il doit aussi répondre à un adulte qui propose des contre-suggestions (Piaget & Inhelder, 1941 ; Ducret, 2004). L'enfant modifie des connaissances parce qu'il cherche à mieux comprendre, en adaptant sa pensée. Le développement cognitif se produit sous l'effet de processus endogènes mais surtout en tant que nécessité de l'expérience. Il s'agit donc d'étudier comment les connaissances se construisent, mais aussi de comprendre face à quel problème

l'enfant est contraint d'auto-réguler ses connaissances, et de remettre en cause certaines connaissances préalables (telles que les schèmes d'action et les concepts).

Les contradictions révèlent un problème pour le sujet – La notion de *contradiction* (ou « perturbation » ou « déséquilibre ») définit une difficulté à appliquer des structures cognitives déjà acquises dans certaines situations (Piaget, 1974c). Le problème pour l'enfant n'est donc pas donné par le réel, mais est une construction qui associe l'enfant et la réalité perçue en fonction de ses schèmes préalables. En effet, lorsque l'enfant assimile à l'aide de ses schèmes, il y a un primat des aspects positifs du réel (« l'affirmation ») sur les aspects négatifs (« la négation »). Ainsi les caractéristiques perçues de l'objet sont plus déterminantes que l'absence de certaines caractéristiques. Par exemple, l'enfant pense la lourdeur de l'objet mais pas forcément l'absence de lourdeur de l'objet. Ceci implique une pensée encore peu structurée et donc susceptible de subir des contradictions. Selon George (1983, p.210), de nombreux phénomènes psychologiques pourraient être distingués sous ce principe unique d'affirmation et de négation. Piaget (1974c) propose que *« la contradiction résulte de la négligence de négations partielles (non-F) et que son dépassement revient à compenser affirmations et négations en un nouveau système »* (p.160). La contradiction permet de décrire le problème trouvé par l'enfant en fonction de son état actuel de connaissance : elles impliquent donc toujours une structure cognitive, les schèmes, mais aussi cas des caractéristiques matérielles du réel tel qu'il est observé par l'enfant. Plusieurs types de contradictions sont proposés par Piaget (1974c). Notamment, la contradiction peut survenir :
- entre des schèmes d'action ou d'opération. C'est le cas lorsque l'enfant peut mobiliser à la fois deux schèmes non-coordonnés pour expliquer le changement de quantités physiques dans les épreuves de conservation, selon par exemple qu'il s'appuie sur la hauteur ou la largeur du verre pour expliquer la quantité de liquide.
- entre un fait réel et un schème. A partir du stade opératoire, l'enfant peut relever une contradiction entre son observation d'un fait réel et un schème d'action ou d'opération qui l'amène à certaines attentes de l'objet. Il peut alors douter de l'observation ou de son raisonnement. Dans le domaine physique, ce peut être une contradiction entre une prédiction et l'observation de l'objet : par exemple, l'enfant prédit qu'un objet coulera du fait de sa matière, puis voit au contraire que l'objet flotte. Ces contradictions ont la particularité d'être rapidement conscientes car la négation n'a pas à être construite mais est imposée du dehors (p.159-162).
- entre des propositions logiques. L'enfant peut effectuer des inférences qui s'avèrent erronées du fait de difficultés d'implication logique. Ces difficultés ont notamment été en évidence dans le raisonnement conditionnel (Wason, 1964, 1966). C'est le cas s'il sait que tous les cubes rouges ont un grelot, et suppose que tous les grelots sont portés par un cube rouge. Ou encore il peut avoir induit que tous les objets en bois flottent et déduire que tous les objets flottants sont en bois.

La résolution des contradictions – Une fois qu'il a repéré une contradiction, l'enfant peut élaborer une résolution de cette contradiction. Dans bien des cas, il s'agit d'un pur évitement de la contradiction : il est plus facile de chercher à confirmer une idée qu'à l'infirmer. Ainsi, l'observation contradictoire peut être ramenée à un cas exceptionnel qui confirme la règle, ou simplement réitérée jusqu'à obtention de la réaction attendue. Piaget (1974c) repèrent un double mécanisme de dépassement des contradictions par compensation. Un dépassement de la contradiction peut avoir lieu par « élargissement du cadre de référence » si l'enfant prend en compte de nouveaux facteurs, ou par « relativisation mutuelle des notions » s'il compense les schèmes les uns par les autres. Ceci implique une réélaboration des concepts : dans le cas de la flottaison, les interactions avec l'objet amènent à rechercher *« une explication non-contradictoire*

et unique » (Inhelder & Piaget, 1955, p.33). C'est le cas de la masse qui est d'abord pensée par l'enfant en termes de lourdeur ou de légèreté, c'est-à-dire ce qu'il considère physiquement comme plus ou moins difficile à soulever ou résistant à sa force. Il n'y a pour lui pas forcément de continuum entre lourdeur et légèreté. Un objet peut avoir les deux attributs : l'objet serait par exemple lourd pour lui et léger pour l'adulte. Il ne perçoit donc pas au départ qu'un des attributs est l'opposé ou le négatif de l'autre, ce qui peut entraîner des contradictions, par exemple si l'enfant perçoit deux évaluations différentes de la lourdeur d'un objet. Ces deux caractéristiques, lourd et léger, sont en fait peu à peu relativisées pour être englobées dans une propriété générale de l'objet : la masse.

Les formes d'équilibration – Ces contradictions appellent une résolution constructive par l'enfant grâce au processus d'équilibration. Les rapports entre contradiction et équilibration *car* le dépassement de la contradiction est une rééquilibration (Piaget, 1974c). Les différents types d'équilibration que proposera plus tard Piaget (1975) rendent compte des diverses interactions nouées entre sujet et objet et de la diversité des contradictions : l'enfant peut équilibrer les rapports entre assimilation et accommodation des schèmes d'action (équilibration de type 1) ; il peut équilibrer les rapports entre des schèmes d'action, entre des schèmes conceptuels, ou entre des schèmes d'action et des schèmes conceptuels, par exemple en coordonnant la hauteur et la largeur du verre dans la conservation des liquides (équilibration de type 2) ; il peut équilibrer les rapports entre une multitude de sous-systèmes, amenant une unification en un tout cohérent.

2.2.3 – L'élimination des contradictions et le développement de la pensée logique : Inhelder et Piaget (1955)

Objectif – L'enfant pense les problèmes à partir de ses connaissances. Le travail d'Inhelder et Piaget (1955) montre de manière microgénétique comment l'enfant met en œuvre ses instruments de pensée et les modifie du fait des contradictions du réel et de la recherche d'une explication générale. En effet, pour construire une explication du phénomène : *« il faut en réalité d'abord éliminer une série de contradictions souvent difficile à éviter (dans la mesure, par exemple, où l'explication est orientée dans la direction du poids seul, alors il peut arriver que ce soit tantôt les corps les plus lourds qui flottent, tantôt les plus légers), puis dégager l'élément commun à plusieurs explications différentes (poids, volume, air, etc…) »* (p.21).

Méthodologie – Des enfants de 5 à 14 ans sont rencontrés afin d'établir leurs conceptions de la flottaison et comment ils changent de conception face à certaines contradictions. Des objets habituels et disparates sont d'abord présentés. L'enfant doit prédire la flottabilité des objets et les classer selon qu'ils flottent ou coulent, selon la réaction de flottaison. Il justifie ensuite les raisons de cette classification, ce qui permet de déterminer sa conception initiale. Ensuite, le sujet manipule et observe lui-même les objets avec un ou plusieurs bacs remplis d'eau. Enfin, il résume ses observations à travers une nouvelle explication générale, ce qui implique qu'il réorganise à la fois ses connaissances et les faits observés.

Le développement des conceptions et des concepts en interaction avec l'objet – Peu à peu l'enfant développe des concepts plus scientifiques qui l'amènent à penser le phénomène en fonction de la densité des objets. Quatre périodes de développement sont distinguées. Jusque vers 7-8 ans (stade IA), l'enfant apprend à distinguer les réactions « flotte » et « coule », avec des

explications changeantes selon les objets et leur réaction. A la fin de ce stade (stade IB), l'enfant distingue les deux réactions, qu'il justifie parfois différemment ce qui occasionne des contradictions : l'objet qui flotte est expliqué du fait de la nature de l'objet, de sa lourdeur ou de sa légèreté, et de sa petite taille, l'objet qui coule est expliqué à l'aide de ces catégories mais aussi en raison de la forme, de la longueur, du positionnement sur l'eau ou de la couleur. Les deux réactions ne sont donc pas justifiées de manière similaire. Les concepts ne sont pas clairement distingués, ni coordonnés (par exemple le léger s'opposerait au lourd). Dans un deuxième stade (stade IIA), l'enfant éprouve le besoin de trouver une explication unique et de résoudre les contradictions précédentes. Il se centre notamment sur le fait que des objets gros flottent et des objets lourds coulent alors que l'enfant tentait parfois d'appréhender de manière syncrétique ces deux aspects. Pour résoudre cette contradiction, l'enfant distingue les concepts de taille et de lourdeur de l'objet, mais il ne parvient pas à opérer dessus : il distingue quatre cas de figure selon que les objets sont légers ou lourds, et petit ou gros. Ceci montre de nouvelles contradictions. Il élabore alors un schème précoce du poids spécifique : la masse en fonction de la matière. Ceci est à nouveau contradictoire car il dispose alors de deux conceptions peu distinctes de la masse, l'une absolue, l'autre relative à la matière, ce qui amène à juger différemment les objets. A partir du moment où il pense l'invariance de la masse de l'objet (Stade IIB), l'enfant peut sérier les objets et il commence à comparer la masse de l'objet à la masse d'eau totale. Ceci conduit à de nouvelles contradictions et il introduit le caractère plus ou moins rempli de l'objet, notamment s'il contient de l'air. Les objets sont donc lourds ou légers en fonction de leur matière et de leur contenu. Puis vers 11-12 ans, l'enfant accède à une pensée formelle et à la conservation du volume (Stade IIIA). Il peut ainsi considérer le volume de l'objet ou le volume d'eau. Il met alors en place de nouvelles stratégies de raisonnement : soit il cherche une contradiction, puisqu'une seule suffit à invalider l'explication ; soit il reprend les concepts préalables mais en comparant un même volume d'eau et d'objet ; soit enfin il pose des hypothèses en évoquant les différents cas possibles. Finalement dans un dernier sous-stade (Stade IIIB), les schèmes préalables l'amènent à comparer des objets ayant des caractéristiques communes, ce qui permet de comparer leur qualité plus ou moins pleine en termes de masse et de volume.

L'explication, les contradictions et des retours-en-arrière – Les contradictions relevées sont liées à la tâche. En effet, l'enfant doit élaborer une explication générale, c'est-à-dire une règle unique et non-contradictoire. Les contradictions sont donc rendues saillances incitent à modifier les conceptions préalables. Cette analyse fonctionnaliste des adaptations de l'enfant, en fonction du contexte et des connaissances préalables, permet de comprendre l'évolution des concepts. Cette évolution est très variable cependant d'un enfant à l'autre. De plus, du point de vue de l'adulte observateur, d'apparents retour-en-arrière sont possibles dans les conduites. L'enfant peut en effet reprendre un concept abandonné mais qui permet de surmonter davantage de contradictions (Inhelder & Piaget, 1955, p.32).

2.2.4 – Des possibilités de contradiction en situation collective et solitaire

Les situations favorables aux contradictions – Selon la théorie piagétienne, dans toute situation, qu'elle soit solitaire ou collective, l'enfant est confronté à un environnement, qui peut l'amener du fait de son état actuel de connaissance, à s'adapter. Cependant, la rencontre du réel en situation collective contient-elle les mêmes potentialités d'émergence de contradiction qu'en situation individuelle ? Ajoute-t-elle ou enlève-t-elle des possibilités de contradiction ? Dans la

résolution des contradictions ensuite, les situations collectives peuvent-elles favoriser le dépassement de certaines contradictions ? Peuvent-elles a contrario favoriser leur évitement ? Ou encore, est-il possible que ces situations collectives mettent davantage l'accent sur certaines contradictions plutôt que d'autres par rapport aux situations individuelles. Les recherches suivantes montrent que les interactions entre pairs peuvent favoriser certaines déstabilisations.

2.3 – Les recherches sur les interactions entre pairs

La psychologie socio-cognitive présente ce que le travail à plusieurs implique par rapport à un travail individuel. Notamment ce courant étudie comment des interactions entre pairs provoquent la déstabilisation du point de vue individuel et des changements de conception.

2.3.1 – L'approche socio-cognitive de la cognition

La place des interactions entre individus – Piaget n'ignore pas le fonctionnement social de l'individu et les liens avec le fonctionnement cognitif (Piaget, 1947). Sa notion de « conflit cognitif » est importante, elle explique la nécessité d'un équilibre adaptatif. Cependant pour lui, le conflit cognitif est nécessaire et vécu personnellement par l'enfant. Il a une teneur affective et un rôle extérieur de déclencheur (Schleifer, 1989). La psychologie socio-cognitive étudie comment les interactions entre pairs agissent sur les apprentissages. Plus précisément il s'agit de mieux comprendre l'articulation de l'intrasubjectif et de l'intersubjectif et non de séparer les aspects internes et externes de l'individu : *« La question de la part respective de l'individu et du milieu, posée en termes si généraux, finit par perdre son sens. Cependant on peut se demander si cette même question n'est pas susceptible de retrouver une pertinence si l'on parvient à observer comment s'opèrent les rencontres entre les processus psychologiques qui ont leur siège dans l'individu et les processus de régulation sociale »* (Perret-Clermont & Nicolet, 2001, p.11). Il y a une perspective à la fois éducative et fondamentale dans ces recherches.

Aux fondements du courant –Vers le milieu des années 70, les premières recherches socio-cognitives (Doise, Mugny & Perret-Clermont, 1975 ; Perret-Clermont, 1979 ; Doise & Mugny, 1981) visent à complexifier la théorie piagétienne par un regard psychosocial. L'approche socio-cognitive du développement s'inspire de la notion de *dissonance cognitive* (Festinger, 1956/1993) et de la nature sociale de la *décentration* piagétienne (Smedslund, 1966). Elles démontrent que les interactions entre enfants favorisent le développement des apprentissages. Plus exactement, il s'agit de mettre en évidence que des interactions entre individus participent aux processus cognitifs du fait de l'articulation entre structuration interpsychique et structuration intrapsychique. L'innovation de ce courant vient en effet du fait qu'il ne recherche pas des processus d'origine purement intraindividuelle, mais qu'il implique des cognitions individuelles impliquées dans une interaction entre individus, laquelle entraîne des effets durables au niveau individuel. La cognition individuelle n'est pas influencée ou transformée passivement par des interactions sociales qui seraient indépendantes et extérieures. Au contraire c'est par son activité de coordination avec d'autres cognitions que l'évolution cognitive peut se produire. Le sujet est donc actif. Il faut considérer une causalité en spirale.

Un modèle expérimental – Ce courant de recherche naît aussi d'une méthodologie spécifique : le modèle expérimental microgénétique avec groupe contrôle (Brainerd & Allen, 1971 ; Inhelder et al., 1974). Il s'agit de suivre l'évolution d'enfants qui, après une évaluation individuelle (ou pré-test), sont confrontés à une résolution collective ou solitaire de problème (ou entraînement ou test), suivie d'une réévaluation individuelle (post-test). Cette méthode a d'abord permis d'évaluer l'impact à court terme de l'interaction entre enfants qui collaborent à la résolution de problème, puis de distinguer des conditions favorables à cette collaboration et de définir les qualités requises de l'interaction en fonction de la tâche.

2.3.2 – Plusieurs générations de recherches

Des générations de recherches – Plusieurs générations de recherche ont suivi et investigué les processus de collaboration (Dillenbourg, Baker, Blaye & O'Malley, 1996 ; Psaltis, 2005 ; Granott, 1998 ; Sorsana, 1999). Après une première génération ayant montré les effets cognitifs de l'interaction entre pairs, une deuxième génération de recherche a précisé des conditions favorables à ce phénomène, puis une troisième s'est centrée sur les interactions entre pairs pendant l'entraînement, en particulier afin de mieux comprendre les processus langagiers, la construction de l'intercompréhension et le rôle des significations (Psaltis, 2005 ; Zittoun & Perret-Clermont, 2009).

Une première génération de recherche centrée sur le conflit cognitif – Un mécanisme psychologique a été repéré au commencement de la perspective socio-cognitive : le *conflit socio-cognitif*. Il s'agit d'un conflit cognitif qui se réalise dans l'interaction sociale (Doise, Mugny & Perret-Clermont, 1975). Ce processus est basé sur la confrontation de points de vue différents entre individus en interaction. La mise en évidence du désaccord implique une coordination entre les individus, puis dans le raisonnement de l'individu. Ce conflit révèle donc un déséquilibre interindividuel et un déséquilibre intra-individuel : *« en raison des divergences entre les sujets, le problème à résoudre n'est pas réductible à un problème cognitif individuel. Il a une dimension sociale tout à fait essentielle. C'est dans la coordination des points de vue pour parvenir à un accord, c'est-à-dire dans la recherche du dépassement du déséquilibre cognitif interindividuel, que les sujets pourront dépasser leur propre déséquilibre intra-individuel »* (Gilly, 2001, p.25-26). Selon Doise, Deschamps et Mugny (1991), l'intériorisation de coordinations sociales implique de nouvelles coordinations intra-individuelles. Dans ces recherches, la collaboration entre pairs n'implique pas une transmission de la bonne réponse d'un enfant à l'autre. En effet, même les partenaires incompétents peuvent progresser s'ils ont des points de vue initialement différents et s'ils interagissent (Ames & Murray, 1982 ; Schwartz & Neuman & Biezuner, 2000). Les progrès observés ne sont pas liés à des processus d'influence sociale, mais bien à une élaboration cognitive intégrant les points de vue et permettant de les dépasser. Jusqu'à présent, les travaux confirment la cohérence et la portée explicative de ce modèle bien que les conclusions dépendent de nombreux facteurs, comme le contexte ou les tâches proposées. Dans les meilleures conditions, cette coordination implique la construction de nouvelles réponses au problème, voire une réorganisation cognitive plus profonde permettant aux individus de résoudre de nouveaux problèmes.

Une deuxième génération de recherches à propos des conditions favorables – Ces résultats ont été confirmés à des âges différents et pour des tâches différentes, par exemple en

mathématique (Cesar, Perret-Clermont & Benavente, 2000 ; Schwarz, Neuman, & Biezuner, 2000) ou en physique (Amigues, 1988 ; Howe, Tolmie & Rodgers, 1990 ; Pontecorvo, 1988). D'autres plus décevants montrent peu de changement ou encore des régressions des réponses individuelles (Levin & Druyan, 1993 ; Tudge, 1989, 1992 ; Tudge, Winterhoff & Hogan, 1996). Ces résultats ont participé à un renouvellement des études socio-cognitives vers une analyse des conditions favorables aux apprentissages, et notamment sur les conditions interindividuelles et individuelles favorables à l'émergence du conflit socio-cognitif : prérequis cognitif individuel, prérequis communicationnels, relations légèrement asymétriques entre les enfants, facteurs affectifs favorables à la communication et à la participation, engagement des partenaires… En particulier, il est important que le conflit ne soit pas régulé sur un plan purement social, c'est-à-dire par des processus d'influence sociale (suivisme, conformisme,…). Il doit également y avoir une régulation cognitive des éléments de l'objet du conflit. De multiples possibilités d'interactions sociales entre pairs ont alors été décelées qui indiquent une variété de processus socio-cognitifs. La thèse procédurale met ainsi en avant d'autres types d'interactions constructives : co-élaboration, coopération, compétition… Notamment, la « co-élaboration » implique des interactions où les enfants n'ont pas forcément un point de vue différent, mais enrichissent mutuellement les activités.

Une troisième génération de recherches à propos des interactions – L'étude critique du cadre de recherche dans lequel s'insèrent les interactions a permis de rendre compte de la complexité de la situation d'interaction entre les individus. L'étude de Perret-Clermont (1993) est révélatrice d'un tournant de ce courant en montrant l'importance et la complexité de la dynamique interactive et des significations attribuées ou véhiculées entre expérimentateurs et participants. Certains travaux s'intéressent ainsi aux aspects culturels (Cesar, Perret-Clermont & Benavente, 2000). En particulier, le regard des chercheurs se focalise sur les significations que les enfants attribuent au processus expérimental (Iannaccone & Perret, Clermont, 1993 ; Schubauer-Leoni & Perret-Clermont, 1997). Notamment, Psaltis (2005) distingue un conflit socio-cognitif partagé où les partenaires supposent avoir des points de vue différents, et un conflit non-partagé où les sujets ont des points de vue différents, mais supposent avoir le même point de vue.

2.3.3 – L'hétérogénéité de points de vue : l'étude de Howe, Tolmie et Rodgers (1990)

Objectif – Une recherche princeps (Perret-Clermont, 1979) montre que les interactions entre pairs favorisent les compétences de conservation des quantités de liquide, en particulier lorsque les enfants ont un point de vue initialement différent. Pontecorvo (1988) ajoute que les objets impliqués dans le thème de la flottaison constituent un support pour certaines interactions. Howe et al. (1990) mènent deux études pour comprendre si des différences de points de vue sont nécessaires entre les enfants pour soutenir un meilleur apprentissage collaboratif des conceptions portant sur la flottaison des objets. L'idée est de comparer les justifications d'enfants, selon qu'ils ont initialement le même type d'argument, des types d'arguments différents et de même niveau, ou des arguments de niveaux différents.

Méthodologie – La première étude est réalisée avec des enfants de 8 à 11 ans, de quatre niveaux scolaires. En pré- et post-tests individuels, ils doivent prédire et justifier oralement la flottaison de huit objets concrets (cuillère, gomme…) et de huit objets évoqués par l'expérimentateur bateau, iceberg…). Leurs conceptions sont évaluées à partir d'une échelle

d'évaluation conceptuelle. Pour l'entraînement, ils sont placés en petits groupes de quatre élèves : soit ils sont de même niveau et utilisent majoritairement les mêmes arguments (condition SS), soit ils sont de mêmes niveaux et utilisent peu d'arguments communs (DS), soit enfin ils sont de niveaux et d'arguments différents (DD). Durant l'entraînement, les enfants font des prédictions individuelles sur huit objets nouveaux. Pour chacun d'eux, ils doivent écrire leurs prédictions individuelles, puis les mettre en commun et discuter pour se mettre d'accord sur une explication du phénomène. Le post-test a lieu cinq semaines plus tard. Dans une seconde étude très similaire, des élèves du même âge doivent pendant l'entraînement faire des prédictions et explications sur des objets placés dans des récipients différents : rempli d'eau, rempli avec une pompe à l'intérieur, à moitié rempli, ou rempli d'eau salée. Le post-test a lieu deux semaines plus tard.

L'hétérogénéité des points de vue – Dans les deux études, les enfants qui présentent initialement une hétérogénéité d'explications (conditions DD et DS) progressent davantage dans les explications données. Les progrès des enfants ne sont pas seulement dus à l'intériorisation d'une explication construite collectivement, car les enfants progressent en donnant de nouvelles réponses plus élaborées. En fait, les différences d'arguments et le nombre d'accords réalisés dans l'entraînement sont corrélés aux progrès des enfants dans les groupes initialement contrastés (DD et DS). En revanche dans la condition homogène (SS), où les enfants ont au départ des conceptions communes, plus l'interaction favorise l'accord entre les participants et moins les enfants progressent.

Une étude limitée – Quelques critiques existent à propos de ces résultats. Notamment, l'échelle d'évaluation des explications est normée sur la théorie scientifique plus que sur le développement ontologique des concepts tel que nous l'avons déjà vu. Ceci a le mérite d'évaluer les élèves par rapport à un objectif didactique de l'école mais, en revanche, contrevient complètement à l'idée piagétienne d'étudier l'enfant à partir de ses propres constructions mentales, et non avec un regard centré sur les réponses de l'adulte. L'étude n'en demeure pas moins importante : elle démontre qu'une divergence initiale d'arguments entre les enfants favorise leurs interactions et la recherche d'un accord intersubjectif, ce qui favorise en retour les apprentissages. Une approche néopiagétienne est donc judicieuse pour décrire le développement conceptuel des enfants à propos du phénomène de flottaison des objets. Des recherches suivantes ont permis de montrer que les progrès individuels pouvaient avoir lieu dans un temps différé de l'entraînement (Howe, McWilliams & Cross, 2005). D'abord appelé « effet d'incubation », ce progrès individuel ultérieur est fondamental pour comprendre l'intérêt des recherches socio-cognitives. En effet, les enfants progressent souvent un certain temps après l'entraînement, prouvant qu'un travail individuel a lieu après coup et permet à l'enfant de restructurer sa pensée.

2.3.4 – Du dialogisme, du langage, et du rapport à l'objet

Contradictions et recherche de consensus – Ces progrès différés montrent l'intérêt des processus socio-cognitifs en tant que voie spécifique de développement des connaissances. Une question demeure : comment mieux comprendre l'effet de restructuration des connaissances au plan individuel ? En effet, la divergence des points de vue initiaux est une condition favorable mais non déterminante du processus socio-cognitif. La recherche d'un consensus entre enfants aurait un rôle important dans le processus socio-cognitif (Howe & Tolmie, 2003). Le fait de rechercher un consensus entre différentes réponses ou hypothèses pour conceptualiser un

phénomène physique, décrirait mieux le processus socio-cognitif. Récemment, une explication plus pertinente a été proposée à propos des effets d'apprentissage différé. Howe (2009) considère les contradictions non-résolues entre enfants comme le moteur essentiel du processus socio-cognitif. Ce retour à la notion de contradiction permet d'embrasser à la fois la nécessité des points de vue ou des réponses différentes, et en même temps la nécessité de s'engager dans un travail de résolution, c'est-à-dire de dépassement de la contradiction. Paradoxalement, c'est parce qu'une contradiction reste non-résolue mais est intégrée dans une tentative explicite de dépassement, que les individus progresseraient dans leurs conceptions en physique.

Processus langagiers et activités langagières – La perspective socio-cognitive entretient donc des liens avec la théorie piagétienne. Pour Piaget, l'instrument d'échange initial est l'action (Piaget, 1970, p.12) ; dans la perspective socio-cognitive, l'instrument d'échange entre individus est avant tout le langage. En effet, l'échange explicite permet aux individus de rencontrer des perspectives différentes de l'objet. La situation collective offre ainsi un nouveau rapport à l'objet. L'interaction collaborative favorise ainsi une pensée critique (Anderson et Soden, 2001). C'est pourquoi l'argumentation peut apparaître comme la situation par excellence d'articulation de points de vue (Grize, 1998 ; Kuhn, 1996 ; Müller-Mirza, Perret-Clermont, Tartas & Iannaccone, 2009). Skoumios (2009) montre ainsi que le processus d'argumentation favorise le développement de conceptions physiques sur la flottaison des objets. La perspective socioconstructiviste permet de penser le passage du langage en situation interindividuelle vers un processus interne. Le langage devient un moyen de pensée intériorisé par l'enfant. Ce dialogisme de la pensée permet alors de comprendre que l'enfant, même en situation solitaire, peut utiliser le langage pour résoudre des problèmes et coordonner des perspectives sur l'objet (Grossen, 1999 ; Ravenscroft, Wegerif & Hartley, 2007 ; Vila, 1997 ; Vygotski, 1934/1997 ; Wegerif, 2011 ; Wertsch, 1985). Brossard (1989) indique notamment que le langage utilisé en situation individuelle crée un espace mental qui étend les possibilités cognitives de l'individu : *« c'est la mise en place en soi-même d'une activité de co-opération avec soi-même […]. A l'occasion de cette reconstruction pour soi d'une situation discursive initialement dialogique, le sujet construit un espace mental, qui deviendra le lieu des activités de résolution de problème : sélection de l'information, représentation du but et des sous-buts, choix de procédures, etc. »* (p.55).

2.3.5 – L'objet soutient la décentration : l'étude de Tolmie, Howe, Macenzie et Greer (1993)

Objectif – La diversité des objets rencontrés peut favoriser la prise en compte de perspectives différentes et expliquer le développement des conceptions. Les interactions avec autrui sont ainsi dépendantes d'un contexte qui met en avant des possibilités de divergence de points de vue. Tolmie, Howe, Mackenzie et Greer (1993) apporte en ce sens une contribution essentielle.

Méthodologie – L'étude est réalisée auprès d'enfants de 8 à 12 ans. En pré-test et post-test, des entretiens individuels permettent d'évaluer la façon dont ils justifient leurs prédictions sur des objets concrets et évoqués. Pour l'entraînement, les enfants d'âges différents sont aléatoirement rassemblés en petits groupes de quatre. Ceci assure une hétérogénéité initiale des conceptions. Les enfants doivent prédire sur des fiches individuelles les réactions d'objets concrets et vérifier les réactions des objets et pour élaborer enfin une explication générale commune pour tous les

objets. Quatre conditions expérimentales sont prévues. Dans la condition « Random », les objets regroupés au hasard ; dans la condition « Critical test », les objets sont regroupés pour mettre en évidence successivement les facteurs matériau, forme, contenu, masse, et masse en fonction de la taille ; un dernier ensemble d'objets hétérogènes est présenté. Les deux conditions suivantes reprennent cette dernière condition en ajoutant des variations sur la fin de l'entraînement : la condition « Rule Generation » implique finalement de distinguer les facteurs qui jouent ou non un rôle sur la flottaison ; la condition « Rule Selection » implique de reprendre les facteurs étudiés en les appliquant au groupe final d'objets hétérogènes.

L'aléa plus bénéfique – Globalement, les progrès sont manifestes de pré-test à post-test différé. Ces progrès portent à la fois sur le nombre d'arguments et leur qualité conceptuelle maximale. Cependant le nombre d'arguments scientifiquement pertinents (relatifs aux notions de masse, volume ou densité) diminue. Les enfants citent de plus en plus d'arguments, dont certains sont encore meilleurs sur le plan conceptuel qu'en pré-test, mais sans pour autant que ces explications soient meilleures en moyennes. C'est la condition « Random » qui favorise les conceptions les plus scientifiques, contrairement aux trois autres conditions. L'organisation de l'attention des enfants sur certains facteurs physiques successivement parait contreproductive. Selon les auteurs, le contexte matériel modifie les interactions entre pairs. L'analyse des interactions permet de distinguer selon que les partenaires discutent d'un facteur explicatif, de la prédictibilité des faits ou de la régulation des échanges dans le groupe. Il y a bien une interaction entre les objets présentés et les types d'interactions réalisées. Le travail collaboratif favorise le changement conceptuel grâce aux types d'interactions suscitées, plutôt qu'à leur quantité ou qu'à la coordination d'idées supérieures.

Intérêt et conclusion – Des changements matériels apparemment mineurs de la tâche tel que le choix d'organiser les objets ou non en fonction de leurs caractéristiques matérielles, conditionne les processus socio-cognitifs. Le fait de proposer des objets de manière aléatoire augmente le nombre de facteurs que les enfants vont prendre en compte ce qui peut amener des déséquilibres cognitifs : *« as members of a group dwelt more and more on the potentially pertinent factors, the range of information to be encompassed by subsequent re-equilibration would have correspondingly increased, eventually resulting in greater sophistication »* (p.196). Au contraire lorsque le contexte matériel limite l'attention des participants sur un facteur, les désaccords entre partenaires seraient plus limités. L'effet des interactions dépend donc de la complexité de la tâche et des contradictions susceptibles d'émerger. La diversité des objets présentés joue donc un rôle dans l'émergence de points de vue différents. Le contexte matériel joue donc un rôle crucial sur le processus de coordination de perspectives différentes. Finalement un tel contexte pourrait également favoriser des processus cognitif en situation solitaire.

2.3.6 – Aspects critiques de la perspective socio-cognitive

Des situations contraignantes – Le courant socio-cognitif met en lumière une variété de modalités interactives dans la collaboration entre enfants, car de nombreux facteurs définissent la situation, tels que la taille du groupe ou les types de situations et les modalités d'interactions (Dillenbourg, 1999). Cette variation des situations de travail n'implique pas uniquement un changement du cadre de la cognition. Elle ne laisse pas indemne les tâches à résoudre. En effet, les situations collaboratives apportent des tâches nouvelles qui diffèrent de celles que

s'assignerait un individu isolé. Ainsi, les réactions des partenaires nécessitent une attention supplémentaire de l'enfant. Les interactions peuvent focaliser le sujet sur des aspects du problème qu'il n'aurait pas perçu autrement. L'enfant doit résoudre de nouveaux problèmes tels que se faire comprendre d'autrui ou interpréter les propos du partenaire. Les situations sociales impliquent donc un changement de l'activité. Ce changement peut lui donner plus de possibilités d'élaboration cognitive. Mais l'interaction implique des compétences spécifiques. Par exemple, la pratique de l'argumentation nécessite des connaissances particulières sur le processus argumentatif et l'acceptation des pratiques langagières comme savoir-faire de la science (Driver, Newton & Osborne, 2000). Plus encore, l'intersubjectivité est un processus exigeant et complexe (Mortimer & Wertsch, 2003). L'interaction peut donc obliger à utiliser des concepts que les deux enfants pensent maîtriser en commun. L'articulation de logiques individuelles et interindividuelles, et les ambiguïtés du vocabulaire de la physique constituent une difficulté spécifique du travail collaboratif (Baker, 1996 ; DeVries, Lund & Baker, 2002). La capacité d'action et de pensée de l'enfant peut enfin être limitée du fait que le partenaire agit déjà sur l'objet, sur le plan pratique comme sur le plan conceptuel. L'ensemble de ces contraintes de l'interaction montre que la situation individuelle peut engendrer des processus de pensée différents. Pourtant dans l'ensemble de ces recherches cette situation est peu analysée.

Interpréter les résultats du courant socio-cognitif – Généralement, les progrès cognitifs repérés sont imputés aux entraînements. Cependant, du point de vue de l'élève, l'expérimentation est un processus discontinu durant lequel il travaille d'abord seul, en répondant à des problèmes posés par l'adulte (pré-test), avant d'effectuer un entraînement seul ou en collaboration (test), puis de répondre en situation individuelle à de nouveaux problèmes similaires (post-test). Cette temporalité constitue une microhistoire dans laquelle l'enfant évolue et adapte ses réponses en fonction de sa compréhension des situations proposées (Iannaccone & Perret-Clermont, 1993 ; Perret-Clermont, 1993). Par exemple, la situation de post-test ne peut pas être considérée comme une réévaluation neutre. Elle oblige l'enfant à pratiquer une nouvelle résolution d'un problème déjà rencontré plusieurs fois. De plus, du fait qu'il voit un adulte lui proposer des séquences de travail semblables ou différentes autour du problème à résoudre, l'enfant interprète les situations en termes d'intentions de l'adulte. Les effets observés ne sont donc pas seulement dus à la présence d'un entraînement collectif ou solitaire mais à l'agencement des situations. La répétition de la situation de résolution d'une tâche peut ainsi suggérer à l'enfant de changer de réponse (Baucal & Stepanovic, 2006 ; Rose & Blank, 1974). La succession des situations solitaires et collaboratives pourrait constituer une piste pour comprendre les évolutions de pré- à post-test.

2.4 – La médiation de l'outil dans la construction des conceptions

La recherche en psychologie socio-cognitive permet de comprendre l'intérêt des situations collectives dans la conceptualisation de l'objet. Cependant, les situations individuelles restent mal connues. Quelles conditions permettent à l'enfant en situation individuelle de prendre en compte des perspectives différentes sur l'objet ? Les outils constituent justement un moyen pour l'enfant de percevoir l'objet sous un angle différent, qu'il travaille seul ou avec autrui. La cognition, en situation solitaire ou collective, est donc à nouveau située dans un cadre d'interactions multiples entre le sujet, l'objet et les outils. Ceci permet de mieux définir la cognition et l'activité, au plan

individuel comme au plan social (Chazal, 2004 ; Rabardel & Pastré, 2005 ; Stetsenko, 2005 ; Vygotski & Luria, 1930/1978).

2.4.1 – Des processus culturels du développement cognitif

L'outil comme produit culturel – La théorie historico-culturelle a ouvert la psychologie du développement à l'étude de l'outil en tant que médiation cognitive essentielle. Cette approche a particulièrement été développée dans le cadre de la théorie de l'activité (Engeström, Miettinen & Punamäki, 1999 ; Engeström, 2005 ; Leontiev, 1975 ; Stetsenko, 2005). L'outil, en tant que médiateur, modifie la cognition. Il stimule des feedbacks de l'objet. Il pointe certaines dimensions particulières de l'objet, qui concurrencent d'autres aspects que l'individu focaliserait dans l'action immédiate, en l'absence de cet outil. Une balance permet ainsi à l'enfant de focaliser son attention sur une la notion de masse ou de lourdeur de l'objet, mais aussi d'effectuer des comparaisons entre les objets, de distinguer l'importance du volume et de la masse dans la sensation de lourdeur de l'objet, etc… L'outil peut être matériel ou symbolique, comme une balance ou un concept. Ce qui importe avant tout c'est l'usage de l'outil plus que l'outil lui-même. Cet usage rend compte de l'articulation cognitive entre sujet et outil. L'outil peut remplir de nombreuses fonctions : représenter le réel (schéma, texte…), mémoriser (bloc note…), réguler une activité (le brouillon…), communiquer (le téléphone…), soutenir la construction d'une identité sociale ou culturelle (les médailles…), etc… Dans l'outil, l'objet matériel peut donc se doter de caractéristiques sociales qui contraignent la cognition (Ackerman, 2007 ; Greeno, 1994).

L'internalisation et l'externalisation – Vygotski (1935/1978a) pointe un processus d'internalisation selon lequel des activités sémiotiques externes peuvent être mentalisées et ensuite employées mentalement pour participer à de nouvelles activités. Ce processus serait quasiment spécifique à l'espèce humaine : *« The internalization of socially rooted and historically developed activities is the distinguishing feature of human psychology, the basis of the qualitative leap from animal to human psychology. As yet, the barest outline of this process is known »* (Vygotski, 1935/1978a, p.57). Il en va ainsi lorsque l'enfant visualise mentalement un schéma ou une table de multiplication ; ou encore lorsqu'il utilise des mots pour exprimer verbalement mais de manière interne sa compréhension des phénomènes physiques… L'externalisation est un processus complémentaire : il consiste à extérioriser verbalement ou matériellement des objets mentaux dans les activités. C'est le cas de la production d'un dessin, d'écritures, de la mise en forme d'une expérimentation, de l'élaboration d'un outil à partir de concepts préalables. Ce processus d'externalisation est peu étudié par Vygotski, mais largement repris ensuite (Gredler, 2009 ; Stetsenko, 2005 ; Valsiner, 2006).

L'appropriation des usages de l'outil – Cette théorie est d'abord fortement ancrée dans une compréhension vygotskienne du développement cognitif : l'enfant, inséré dans son contexte social et matériel, rencontre des outils façonnés par sa culture et utilisé par d'autres individus connaisseurs. Ces outils, peuvent être matériels (par exemple un stylo) ou abstraits (par exemple des concepts). Or à l'enfant doit comprendre à quoi sert un nouvel outil, comment il fonctionne, dans quelles situations, quel est son usage conventionnel, comment il peut l'utiliser malgré ses dispositions personnelles, etc… L'usage de l'outil n'est pas donné. L'enfant peut par exemple regarder ce qu'en font d'autres individus, manipuler l'objet, ou l'adapter à son anatomie. Alors, il doit s'approprier un usage culturel en l'adaptant de manière créative (Rabardel & Pastré, 2005).

Dans divers domaines, l'enfant va s'approprier des outils sémiotiques, mis en œuvre dans l'activité collective, ce qui transforme les tâches et les processus psychologiques. L'usage de l'outil est un indicateur du développement de l'enfant. Selon l'approche trialogique (Paavola & Hakkarainen, 2005), les individus mettent en place des outils qu'ils ne récupèrent pas seulement dans la culture, mais en les utilisant de manière innovante, en adaptant leurs fonctions pour réaliser de nouvelles activités. C'est le cas lorsque l'individu détourne l'usage d'un outil à d'autres fins. C'est également le cas de la mise en place de dispositifs instrumentaux, c'est-à-dire de la compétence des individus à organiser leur environnement à l'aide d'outils pour répondre aux problèmes. Les capacités créatrices permettent de modifier et transformer les contraintes de l'activité et d'orienter les individus vers le développement de nouvelles connaissances.

2.4.2 – Le choix d'outils représentationnels : les études de Smith, Snir et Grosslight (1992) et de Hardy, Schneider, Jonen, Möller et Stern (2005)

Une étude préalable sur les représentations de la densité – Les études suivantes montrent que l'influence des outils sur le développement des connaissances est un processus actuellement difficile à prédire pour l'expert. Smith et al. (1992) ont proposé à des enfants de 11 à 13 ans de s'entraîner à représenter visuellement la densité des objets. En pré- et post-test, un entretien individuel permet d'évaluer si l'enfant distingue la masse de la densité, s'il comprend la notion de densité pour expliquer la flottaison, et s'il peut utiliser ou créer un schéma de la relation masse-volume pour penser la densité. Egalement, on évalue si l'enfant est capable d'expliquer la flottaison de manière générale à l'aide de la densité, de prédire et expliquer la flottabilité d'objets contre-intuitifs (comme un objet lourd mais moins dense que l'eau) et d'expliquer la réaction d'un objet en fonction du liquide. L'entraînement consiste en une série de leçons est ensuite proposée sur la densité et la flottaison, et en un entraînement qui utilise des applications informatiques. Cet outil permet aux enfants de représenter des objets sous formes de carrés et de points qui simulent le volume, la masse et la quantité de matière. Ce dispositif doit soutenir la différenciation des concepts de masse et de densité. Les enfants peuvent manipuler virtuellement les dimensions de l'objet. Contrairement aux prévisions, peu d'enfants progressent. La représentation informatique n'a bénéficié qu'à une partie des enfants, qui avaient déjà un début de conception de la densité en pré-test, pour distinguer masse et densité et leur rôle dans la flottaison. Malgré un enseignement élaboré et le soutien d'outils de représentation, le concept de densité est relativement difficile à appréhender même pour de jeunes adolescents.

Une nouvelle étude avec des outils classiques – La capacité à se représenter deux quantités physiques comme la masse et le volume des objets pour penser leur densité, nécessite un raisonnement proportionnel peu fréquent même chez des adultes. Un support instrumental peut soutenir ce raisonnement. Cependant le choix des outils est problématique. Hardy, Schneider, Jonen, Möller & Stern (2005) étudient comment un graphique et une balance aident différemment des enfants à coordonner mentalement la masse et le volume.

Méthodologie – Dans cette étude, des élèves de 8-9 ans participent à une série de leçons sur la flottaison des objets. Après un cours sur la notion de matériau, ils posent des hypothèses à propos de la masse et du volume des objets qu'ils testent expérimentalement. Finalement, ils distinguent des objets de même volume mais de masse différente pour appréhender la notion de densité en fonction du matériau. A partir de ce moment, une partie des élèves s'entraîne en dyade

à représenter le concept de densité à l'aide d'un graphe librement construit ; l'autre partie des élèves fait de même à l'aide d'une balance à bras. En post-test immédiat, les enfants sont évalués sur leurs conceptions de la flottaison ainsi que sur le raisonnement proportionnel à propos de la densité et d'autres tâches. En post-test différé, les enfants réalisent individuellement un entretien portant sur la densité et la vitesse, représentés à l'aide de graphes. Des questions portent sur la coordination de la masse et du volume et sur des cubes systématiquement contrôlés dont il faut prédire et expliquer la flottabilité à l'aide du graphe.

La balance comme outil représentationnel – En post-test immédiat, les conceptions des enfants sur la flottaison et sur la densité ont progressé de manière comparable dans les deux conditions. Le raisonnement proportionnel à propos de la densité a davantage progressé chez les enfants utilisant le graphe ; celui à propos de la vitesse a davantage progressé chez les enfants utilisant la balance. Pourtant en post-test différé, ceux qui se sont entraînés avec la balance ont davantage progressé pour comprendre la densité et la flottaison des objets que ceux qui s'étaient entraînés à construire des diagrammes. Cette compétence pratique permet aux enfants de soutenir à la fois leurs prédictions et leurs explications. Il est donc préférable pour des enfants de cet âge d'utiliser une balance pour appréhender les relations de proportionnalité entre masse et volume que de construire des graphiques. Selon les auteurs, les enfants manipulent et perçoivent davantage les conséquences de la masse, du volume et du matériau des objets en les plaçant à différents points du bras de la balance. Ceci les aide à comprendre la densité et les concepts sous-jacents : *« Representations differ in the way they afford the integration of two quantities. On the balance beam, weights representing mass and volume can be put on both sides of a beam so that it will be in balance »* (Hardy et al., p.210).

2.4.3 – La démarche hypothético-déductive : l'étude de Penner et Klahr (1996)

Objectif – Malgré les résultats précédents surprenants, l'étude suivante montre que les enfants peuvent s'appuyer de manière autonome sur leur environnement matériel en élaborant des hypothèses et une connaissance. Penner et Klahr (1996) étudient comment l'enfant s'appuie sur le contexte matériel pour élaborer un raisonnement hypothético-déductif et mettre en place démarche expérimentale. Un problème lié au phénomène de flottaison, consiste à estimer le temps que va mettre l'objet pour couler. Les variables physiques en jeu sont les mêmes que pour déterminer la flottaison de l'objet (masse, volume, densité, gravité…). La tâche diffère cependant. En particulier, les enfants et de nombreux adultes pensent que les objets coulent plus vite en fonction de leur masse. Il s'agit d'une conception erronée puisque cela dépend principalement du volume et de la forme.

Méthodologie – Les auteurs ont étudié dans une étude pilote comment des enfants prédisent et conçoivent le fait que les objets coulent, et quels facteurs ils découvrent dans de courtes expérimentations qui peuvent remettre en question leurs préconceptions. Dans l'étude principale, ils utilisent ce problème avec des enfants de 10, 12 et 14 ans. Pour les étapes pratiques qui leur sont proposées, ils disposent d'objets systématiquement contrôlés selon le matériau, la forme et la taille, et par conséquent variant en masse et densité ; ils disposent également de récipients d'eau et d'une liste des objets indiquant leurs caractéristiques physiques. La séquence proposée est composée de quatre étapes. Dans une première étape, les enfants produisent une explication du phénomène (ils expliquent pourquoi les objets coulent, si tomber dans l'air

constitue un phénomène identique, et quels attributs peuvent expliquer le fait de couler). Dans une deuxième phase, ils réalisent des prédictions avec des paires d'objets et doivent classer les huit objets proposés. Dans la troisième phase, ils réalisent plusieurs expérimentations avec des paires d'objets choisis par eux-mêmes (ils génèrent une hypothèse, prédisent, décrivent leurs observations, et concluent). Enfin dans la dernière phase, ils indiquent quels facteurs impliquent que les objets coulent, si ces facteurs sont d'égale importance, et quelles seraient les caractéristiques d'un objet coulant le plus vite possible. Cette méthodologie permet de suivre les conceptions des enfants à propos d'un problème où plusieurs variables peuvent être invoquées, et leurs conduites épistémiques lorsqu'ils élaborent des hypothèses et des expérimentations en s'appuyant sur des objets et outils.

Une révision difficile des conceptions– La plupart des participants ont au début une conception naïve et unifactorielle du phénomène : la masse de l'objet expliquerait la vitesse d'immersion. Les prédictions qu'ils font sont cohérentes avec cette idée. Les plus jeunes ont des difficultés à modifier leurs préconceptions. En revanche, au cours des séquences, les 12 et 14 ans utilisent plusieurs facteurs causaux. Ils se séparent davantage de leurs préconceptions que les 10 ans. Cette révision semble largement due à la démarche expérimentale mise en œuvre. Pour développer une conception à plusieurs facteurs, il faut une démarche rigoureuse en multipliant les expérimentations, pour estimer le poids des facteurs.

Evolution de la démarche expérimentale – Le savoir-faire expérimental mobilise de nombreuses habiletés cognitives qui se développent entre 10 et 14 ans. Les plus jeunes mettent en place une démarche d'ingénieur, qui vise à faire des prédictions pour démontrer que leur conception est valable. Par contre dès 12 ans, ils mettent en place une démarche hypothético-déductive en formulant des hypothèses ou prédictions qui ont pour but de tester leurs conceptions et de les réviser si nécessaire, ce qui les amène à combiner de nouveaux facteurs pour compléter leur théorie naïve. Malgré cette évolution, les plus âgés se montrent encore peu capables de prendre pleinement en compte les faits contradictoires avec leurs conceptions préalables. L'étude montre combien la révision des conceptions est difficile et doit s'appuyer sur des expériences extérieures que l'enfant apprend à provoquer pour déstabiliser ses propres connaissances. Plus que la mise en place d'une expérience matérielle, il s'agit pour lui d'apprendre à créer un dispositif expérimental, qui s'appuie sur la diversité de l'environnement physique, sépare des variables, multiplie les expériences, et se base sur les limites de sa connaissance actuelle. Une étude de Schauble (1996) a également montré que des enfants de 11 ans, confrontés à des incohérences de leurs conceptions initiales tentent de reproduire les mêmes expérimentations, par exemple en supposant une erreur de mesure. Au contraire, les adultes suspectent plus rapidement un défaut dans leur conception et tentent alors de nouvelles expérimentations pour explorer systématiquement cette incohérence.

2.4.4 – L'activité d'écriture comme moyen d'autonomisation de la pensée

L'explication générale et l'écriture – Développer une explication générale implique pour l'enfant de proposer un petit nombre de facteurs généraux explicatifs. L'activité de justification au contraire implique une certaine plasticité conceptuelle, car l'enfant peut donner des raisons différentes pour justifier la réaction de différents objets plongés dans l'eau. Le fait de devoir proposer des propositions générales est donc en soi susceptible de confronter l'enfant à sa propre

diversité de points de vue sur les raisons de la flottaison des objets. Il faut pourtant beaucoup de temps à l'enfant pour prendre en compte ses propres contradictions. En effet, l'enfant peut changer de conception au cours du temps, passant d'un objet à l'autre, et il faut des situations bien particulières comme la rencontre du point de vue d'autrui ou d'objets réagissant différemment de ses prédictions, pour le confronter à ses propres conceptions. Il est possible de créer un espace concret de pensée qui confronte l'enfant à ses propres propositions précédentes. En particulier, l'écriture lui permet d'entrer dans un processus de symbolisation qui rend visible ses propres fluctuations conceptuelles. L'enfant peut alors par la médiation du langage et de l'écrit, corriger seul ses propres conceptions. L'environnement instrumental peut donc permettre à l'enfant de surseoir à l'absence du tuteur ou du pair. Les médiations sémiotiques à disposition des enfants évoluent fortement, en particulier avec les compétences d'écriture et la découverte de pratiques langagières différenciées. Une étude de Weil-Barais & Bouda (2004) compare les activités menées en classe avec des enfants de 7-8 et 10 ans, autour des conceptions sur la flottaison. Les participants doivent faire des expérimentations et tester une hypothèse en travaillant en petit groupe. Les plus jeunes font davantage de manipulations et repèrent de nombreux facteurs intervenant dans le phénomène. Les plus âgés passent plus de temps à noter, travaillent de manière plus autonome par rapport à l'adulte, et restent plus concentrés sur leur objectif.

2.4.5 – Pratiques langagières et écriture : les études de Klein (2000) et Alcorta (2001)

Les pratiques langagières – Certaines activités instrumentées permettent d'utiliser le langage en situation individuelle ou collective. L'écriture constitue une pratique fréquente dans les activités scientifiques. Comme pour d'autres outils, l'enfant doit s'approprier son fonctionnement et son usage. Klein (2000) a étudié comment des enfants de 9, 11 et 13 ans, après divers entretiens et des séquences d'expérimentation sur les objets, expliquent le phénomène de flottaison. Les écrits sont analysés selon qu'ils servent à présenter une explication, à rassembler des idées (« brainsorming »), à présenter des expérimentations, à corriger des explications précédentes, etc… Les activités de « brainstorming », d'expérimentation et de reprise de l'explication écrite expliquent mieux les progrès conceptuels. Ecrire permet selon l'auteur de favoriser un espace de pensée dialogique et dialectique : *« a text can serve as a source of structure and content ; it can serve as an interlocutor with which students engage dialectically »* (Klein, 2000, p.342). Les pratiques écrites permettent d'expliquer des changements cognitifs. L'étude suivante montre l'évolution au cours du développement d'une pratique d'écriture qui permet à l'enfant de soutenir individuellement ses processus cognitifs.

L'utilisation du brouillon – L'utilisation du brouillon est une activité écrite qui sert comme médiation sémiotique pour penser. Cette pratique permet de réguler les processus cognitif en situation individuelle, par exemple en rédigeant des tentatives personnelles d'explication ou en posant des calculs. Alcorta (2001) a analysé l'utilisation du brouillon par des petits groupes d'élèves de 10 à 17 ans et de jeunes adultes universitaires. Ils doivent produire deux textes : l'un retrace de manière informelle un film sur l'évolution de l'espèce ; l'autre juge de manière argumentée l'influence de la télévision. Le brouillon se développe avec l'âge en quantité et en qualité. Les enfants utilisent peu le brouillon de manière spontanée. En revanche, l'évolution qui se dessine n'est pas linéaire car un profond changement survient, généralement durant l'adolescence. L'usage du brouillon est jusqu'alors essentiellement utilisé pour réguler

individuellement ou collectivement l'écriture d'un texte. Les enfants et jeunes adolescents écrivent du texte au brouillon, qu'ils modifient légèrement. Le texte final reste proche des essais réalisés. Ce brouillon « linéaire » a un aspect textuel. Il comporte des ratures, et des bouts de phrases. Plus tard, le brouillon « instrumental » se développe. Il est davantage conceptuel, et sert à extérioriser la cognition sur le papier: des schémas, des listes de mots et des symboles abstraits. Ce changement pour un brouillon instrumental apparaît dès 13-14 ans selon les tâches. Pour cet auteur, l'usage du brouillon est fonction de la situation. Le brouillon linéaire sert à communiquer en partageant une écriture commune. C'est une « espace d'écrit pour autrui ». Le brouillon instrumental sert moins à communiquer qu'à représenter et devient donc « un espace d'écrit pour soi ». Dans cette évolution discontinue, le brouillon gagne une fonction cognitive permettant à l'enfant de pratiquer le langage en situation individuelle.

Résumé du chapitre 2

Archimède dit : *« Donnez moi un point d'appui et je soulèverai le monde »*. Il signifie ainsi que le changement est possible avec des moyens bien employés. De la même façon le cadre socioconstructiviste, largement inspiré de la pensée vygotskienne, mais aussi en partie de l'approche piagétienne, suppose que les interactions, de tutelle ou collaboratives, ainsi que l'environnement matériel et instrumental, sont des leviers pour faire évoluer la pensée de l'enfant.

On peut retenir que :

- Les objets matériels, et leur façon d'être présentés côte-à-côte, peuvent apporter des contradictions aux conceptions de l'enfant et appeler à des changements conceptuels.
- La mise en place de processus socio-cognitifs (conflit socio-cognitif, argumentation…), fréquents dans les interactions entre pairs, est favorable au développement d'une conception qui intègre des points de vue différents et des significations et concepts coconstruits.
- L'utilisation de plus en plus contrôlée de compétences instrumentales, avec des outils matériels tels que des supports de représentation, favorise la mise en place de conduites d'interaction avec l'environnement et le développement des conceptions.
- Enfin, ces différents aspects entretiennent des liens d'interdépendance dans la situation. L'autorégulation des conceptions se développe en s'appuyant et en coordonnant ces éléments, et permet la remise en question autonome des conceptions. L'enfant apprend alors à s'aider lui-même.

Au sein de ce système de l'activité, l'enfant construit des connaissances grâce à une pluralité de médiations cognitives et en recherchant une cohérence à ses conceptions de l'univers physique. Lorsqu'il travaille seul il peut s'appuyer la médiation de l'objet (feedbacks) et sur celles des outils. En travaillant à plusieurs, l'enfant dispose en outre d'une médiation supplémentaire grâce aux échanges avec ses partenaires. Ces situations différentes impliquent donc des médiations différentes. C'est dans ce cadre que nous nous interrogeons sur l'importance des variations des interactions entre pairs.

L'objectif à présent est de s'intéresser à l'importance pour l'enfant d'avoir ou non des moments individuels et collaboratifs de travail et de comprendre comment assembler ces temps de travail.

Tableau 4 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 2

	Référence	**Aspect central**	**Résultats principaux**
Interactions enfant-objet	Inhelder & Piaget (1955)	Rôle de la compréhension logique des contradictions procurées par les objets	Selon les conceptions acquises, la réaction de l'objet matériel parait parfois contradictoire et appelle une restructuration logique de la conception
	Tolmie et al. (1993)	L'organisation de la tâche influence le développement des conceptions	La façon dont les objets sont présentés ensemble à l'enfant implique une attention sur des aspects de la tâche qui peuvent déstabiliser sa conception
Interactions entre pairs	Howe et al. (1990)	Rôle des interactions entre pairs dans le développement cognitif	L'hétérogénéité des points de vue favorise le développement de conceptions scientifiques
	Skoumios (2009)	Rôle de l'argumentation comme processus socio-cognitif de développement des conceptions	Les adolescents ont encore peu d'interactions argumentées dans leurs interactions de groupe ; l'argumentation se développe peu à peu grâce à la reprise des activités et le guidage de l'adulte
Interactions enfant-outil	Smith et al. (1992) & Hardy, Schneider, Jonen, Möller & Stern (2005)	Rôle des outils représentationnels	L'utilisation d'outils de représentation abstraite de la densité est peu soutenante ; l'utilisation d'outils matériels comme une balance à bras est plus efficace pour l'enfant.
	Penner & Klahr (1996)	Le développement de la démarche hypothético-déductive	A l'adolescence se développe une compétence hypothético-déductive qui permet à l'enfant de réguler ses propres conceptions en s'appuyant sur des expérimentations systématiques
	Alcorta (2001) & Klein (2000)	Pratiques de l'écrit	L'usage du brouillon se développe au cours de l'adolescence et devient un outil de travail autonome ; l'écriture en lien avec l'expérimentation soutient le développement de conception

CHAPITRE 3 – LES SITUATIONS SOLITAIRES ET COLLABORATIVES DANS L'APPRENTISSAGE DE L'ENFANT

Après avoir exposé le développement constructiviste des concepts physiques, et un cadre socio-cognitif pour définir les situations de travail, ce chapitre montre l'importance d'articuler dans le temps les situations individuelles et collectives. D'un point de vue socioconstructiviste, la présence des situations solitaires parmi des situations collectives présente au moins trois intérêts dans le développement cognitif. Nous présentons successivement :
- des caractéristiques pour définir les situations individuelles,
- l'intérêt de ces situations pour parer aux effets négatifs du travail collaboratif,
- l'intérêt de ces situations en fonction de la période de développement de l'enfant,
- l'intérêt de ces situations dans l'élaboration constructive de conceptions.

Cette dernière piste nous semble la plus importante dans une perspective socioconstructiviste.

3.1 – Vers une psychologie des situations individuelles et collectives

Dans cette section, les obstacles de la prise en compte des situations individuelles par la psychologie sont d'abord identifiés ; puis nous définissons les situations « solitaires » (ou « situations individuelles »), et l'intérêt de les articuler aux situations collectives.

3.1.1 – Prendre en compte les situations solitaires

Limites du fait du projet initial de la psychologie – Nous avons repéré plusieurs contraintes qui empêchent les chercheurs de prendre en compte les situations solitaires dans le développement de la pensée. La première difficulté vient du projet initial de la psychologie, annoncée comme l'étude du fonctionnement mental individuel. Une méthodologie classique de la psychologie est d'évaluer la cognition « individuelle » par l'étude de l'enfant mis en situation « solitaire » : les participants répondent individuellement à un problème ; les réponses recueillies supposent une compréhension du fonctionnement mental à l'intérieur de l'individu. Il y a là un choix initial d'unité d'analyse et de méthodologie : utiliser des situations solitaires pour étudier en fait des processus psychologiques intra-individuels. Les processus ainsi repérés relèvent-ils d'un fonctionnement lié à l'individu en toute situation ? Sont-ils dépendants de cette situation solitaire particulière ? La situation solitaire est-elle la meilleure pour montrer ces processus individuels ? Et finalement, quelle situation retenir comme étant plus représentative ?

Limites du fait de la focalisation sur les situations collectives – Une deuxième difficulté vient ensuite du fait que les chercheurs qui étudient les effets des situations collectives sur la cognition, ne présentent pas les particularités de la situation solitaire qui est pourtant

implicitement mise en comparaison. La psychologie sociale et les perspectives socioconstructivistes focalisent la recherche sur le fonctionnement psychologique dans un contexte interindividuel (Par ex. Moscovici & Paicheler, 1973). C'est aussi le cas des études socio-cognitives sur l'apprentissage. Les recherches s'intéressent au rôle des interactions entre pairs sur les processus psychologiques par rapport à une situation contrôle mal définie, qu'est la situation solitaire. Ces travaux décrivent finement le fonctionnement psychologique en situation collective, et négligent de décrire les particularités de la situation individuelle ou solitaire. Les questions et hypothèses qui en découlent sont souvent formulées en comparant des enfants qui interagissent par rapport à des enfants qui ne travaillent pas ensemble.

Une limite terminologique – Enfin une dernière difficulté vient du fait du vocabulaire employé. Le vocabulaire en psychologie est parfois emprunté au langage courant. Or dans le langage courant, le terme « solitaire » est parfois remplacé par « individuel », « personnel », « isolé », et la solitude est souvent confondue avec l'isolement, l'indépendance, l'autonomie, la séparation, etc… Ces mots sont souvent employés les uns pour les autres. Cette confusion se retrouve dans d'autres langues. En anglais par exemple, on distingue d'autres catégories aussi confuses : « alone », « loneliness », « solely », « individually », « independently »… Enfin, le terme « social » englobe aussi souvent des aspects dyadiques, interindividuels, groupaux, symboliques, culturels… Ceci limite la communication scientifique.

L'idée de groupe – L'idée de situation solitaire reste critiquable. Il s'agit d'un concept que nous définirons ensuite. En revanche, on peut s'étonner que l'idée de groupe n'appelle pas la même méfiance. Pourtant, Anzieu et Martin (1968) indiquent : *« Le terme français de groupe est récent. Il vient de l'italien groppo ou gruppo, terme technique des beaux-arts, désignant plusieurs individus, peints ou sculptés, formant un sujet. Ce sont des artistes français, tel Mansart, qui l'ont importé, vers le milieu du XVII^{e} siècle, après leur séjour en Italie. […] C'est seulement vers le XVIII^{e} siècle que groupe désigne une réunion de personnes »* (p.17). Le groupe est en fait un concept dont les limites sont fixées par l'utilisateur. Le mot « solitaire » (du latin *solus*) est plus ancien. La solitude définit *« l'état d'une personne seule, retirée du monde »* ou *« l'état d'isolement »* (Solitude, 1992) ou la *« situation d'une personne qui est seule de façon momentanée ou durable »* (Solitude, 2000). Aujourd'hui de nombreux travaux de psychologie s'intéressent à la situation solitaire sur un plan subjectif, c'est-à-dire dans le vécu affectif et social. Cependant, selon Hannoun (1993), le terme « solitude » a d'abord servi pour désigner un lieu, puis une situation objective de l'individu, et finalement un sentiment. Cette évolution sémantique contribue un peu plus à oublier son implication pour définir une situation. Pourtant les situations solitaires auraient un intérêt pour favoriser la créativité dans divers domaines dont le domaine scientifique (Bachelard, 1961). Une étude par questionnaire indique que des adultes peuvent concevoir les situations solitaires comme des temps plutôt favorables à leurs activités, notamment aux activités créatives (Long, Seburn, Averill, & More, 2003).

Intégrer la situation solitaire en psychologie socio-cognitive – L'approche socio-cognitive inscrit l'étude de l'individu dans un cadre social et matériel élargi. On peut alors suivre l'évolution de l'individu dans un cadre où les situations évoluent et changent. En particulier, ce travail pointe deux situations particulièrement contrastées pour la cognition : il distingue des situations collectives et des situations solitaires, et tente de comprendre comment la cognition évolue dans ces situations contrastées. Ce choix permet de compléter les travaux de la psychologie socio-cognitive sur la collaboration entre pairs (Perret-Clermont & Nicolet, 2001).

Dans ces travaux, il est souvent fait référence aux situations de travail *individuel* ou encore à la condition *contrôle* de l'expérience. Mais cette situation n'est selon nous pas assez investiguée pour comprendre quel rôle elle peut avoir dans le dispositif expérimental, comme dans un dispositif éducatif. Pour mieux comprendre l'importance de la question, nous avons porté cette question sur un plan diachronique : passer par des situations solitaires a-t-il un rôle dans la mise en œuvre ultérieure de processus psychologiques ?

3.1.2 – Une définition des situations solitaires

Une définition dynamique – La psychologie s'occupe de processus psychologiques qui impliquent des individus dans un champ d'interactions sociales qui évoluent. Les individus sont donc, dans un espace limité, obligés de se croiser mais également parfois de s'éloigner les uns des autres, de se séparer, de se rencontrer, de passer d'un rassemblement à un autre, mais aussi par moment de penser à distance, par éloignement, ou de s'engager dans une activité individuelle. Etre seul et être en groupe distingue des situations interindividuelles possibles dans un large éventail de possibilités collectives. Cependant, que la situation soit solitaire ou collective, des processus individuels et sociaux concourent à tout moment au fonctionnement psychologique des individus. Les situations solitaires sont caractérisées par le fait qu'un seul individu réalise les activités dans le but individuel de parvenir à un but, qu'il soit prédéfini ou non, en interagissant le moins possible avec autrui ; de plus, l'activité est organisée à ce niveau d'analyse par un seul individu. Les performances de résolution sont donc attribuées à l'enfant en tant qu'agent principal de l'activité. Enfin, les contraintes sociales sont particulières du fait que de nombreuses ressources sociales restent disponibles, notamment les objets et les outils.

Le travail solitaire en situation scolaire – Cette situation de travail est fréquente en milieu scolaire. Johnson et Johnson (1985) appellent *« individualistic situation »* une situation scolaire où : il y a absence d'interdépendance entre les enfants dans la réalisation de leur activité ; les tâches sont suffisamment simples ou visent l'acquisition de connaissances et ont des consignes suffisamment claires pour éviter le recours à une aide extérieure ; chaque enfant perçoit le but de l'activité comme important, et espère répondre à cet objectif ; chaque enfant est relativement isolé, il n'y a pas d'interaction avec d'autres enfants ; l'enfant a une responsabilité personnelle dans la réalisation de la tâche et l'auto-évaluation de ses activités ; le tuteur est la seule source pouvant fournir une aide ; les élèves sont séparés par un espace suffisant et disposent d'espace suffisant en fonction de la tâche à résoudre. L'exemple didactique fourni par ces auteurs illustre bien ces aspects : « *You explain, "For some of the things we are going to be doing, each student will need to know to use a microscope. I will give each of you a microscope and the other things you will need to work through this booklet. Take your time and work carefully until you have mastered the tasks outlined in the booklet. Let me know if you need help with anything." You then see that each student has a microscope and set of materials, and you begin to move from student to student to see how they are progressing.* » (p.65). Le travail est ici tout de même fortement soutenu par l'adulte qui s'engage à être disponible si l'enfant en a besoin. On est là sans doute quelque peu éloigné de l'idée d'un travail solitaire plus isolé. Cependant la vie des enfants étant extrêmement encadrée par la présence d'adulte, on peut penser que les situations individuelles où l'adulte est présent mais intervient peu, sont les situations solitaires des enfants, celles où ils sont responsables de leurs propres comportements pour résoudre les tâches. Enfin, les auteurs donnent des repères pratiques pour créer des situations solitaires optimales. Cependant l'utilité de ce

travail reste indéfinie, laissant à l'enseignant la responsabilité de juger de l'opportunité des situations collectives et solitaires.

3.1.3 – Un choix d'approche théorique des situations solitaires

L'approche culturelle de la situation solitaire – Les théories du courant socioculturel analysent des processus de participation et négligent les phases de désengagement ou de séparation, malgré des propositions encourageantes. Selon Matusov (1998): *« the 'social plane' constantly transforms into another 'social plane'. Individual development, evident in changes of the character of individual's contributions to a sociocultural activity, is not independent solo performance (or an outcome of the social plane), as Vygotski seemed to suggest, but a form of the social plane itself* » (Matusov, 1998, p.333). Il precise ensuite: *« the sociocultural individual only changes participation in specific sociocultural activities never 'leaving' or 'entering' sociocultural activity per se. So, a sociocultural individual never joins or leaves the sociocultural activity, but changes partners, directions, and forms of participation, even when the individual is in a 'solo' phase of the activity »* (ibid., p.338). Dans cette approche, l'unité d'analyse est fondamentalement collective. L'individu n'est qu'un maillon d'un tout holistique dont il est difficilement détachable. Ces propositions coïncident avec notre étude. Divers travaux montrent que l'enfant apprend culturellement à être seul depuis le plus jeune âge (Rogoff, 2003). Cependant, nous avons choisi de prendre en compte ces situations sociales où un individu seul réalise les tâches.

Approches constructiviste et socioconstructiviste de la situation solitaire – Dans les perspectives constructivistes, l'environnement social est très peu décrit. Il n'est pas pris en compte pour expliquer des changements conceptuels. C'est pourquoi il est parfois indiqué que le sujet piagétien est un « *solitary knower* » (Smith, 1996). Cependant les situations mises en place par Piaget requièrent de l'enfant qu'il résolve des problèmes en présence d'un adulte expérimentateur (Ducret, 2004). De plus, l'adulte invoque le point de vue d'autres élèves dans des contre-suggestions. C'est pourquoi cette recherche se situe davantage dans une perspective socioconstructiviste, qui pose la question de l'insertion de la cognition dans des contextes sociaux et de leurs effets mutuels. Pour Matusov (1998), le socioconstructivisme signifie qu'il n'y a pas de situation solitaire indépendamment des processus sociaux. Simplement, les contraintes de cette situation sont différentes de la tutelle entre un adulte et un enfant, ou de la collaboration entre pairs. La situation solitaire d'apprentissage est par définition située, c'est-à-dire façonnée et contrainte par des aspects sociaux et culturels ainsi que matériels. *« Recently, some scholars have questioned whether there is such a thing as solitary activity or independant thought. Even when they originate in solitary moments of reflection, our ideas are heavily influenced by cultural beliefs and artefacts and our prior social interactions »* (Azmitia, 2000, p.183). Ces situations font parties d'un éventail de situations sociales possibles. Il n'est pas de travail collectif qui ne soit traversé d'étapes solitaires : il n'y a que des moments de pensée relativement individuels et sociaux (Azmitia & Crowley, 2001, p.52).

Le courant socio-cognitif et la situation solitaire – Le courant socio-cognitif parait approprié pour focaliser sur les situations interactives et solitaires que traverse l'individu. Dans cette approche, il s'agit d'étudier les implications cognitives des situations d'interactions entre pairs par rapport aux situations individuelles. Ce modèle permet de distinguer l'importance du

dialogisme et de la dialectique dans la pensée, c'est-à-dire un processus qui rassemble des interactions inter- ou intra-individuelles, et réduit au maximum l'implication de processus d'influence sociale. Dans l'approche, socio-cognitive, les chercheurs s'intéressent notamment aux interactions entre pairs et proposent : *« une lecture qui privilégie la relation de causalité « en spirale » (Doise et Mugny, 1981) entre phase sociale et individuelle de l'élaboration des instruments cognitifs »*. (Carugati, 2001, p.103). Doise (1983) différencie les processus psychologiques à quatre niveaux : individuel, interindividuel, positionnel et idéologique. La distinction entre les deux premiers niveaux peut servir pour désambiguïser les mots « social » et « collectif » d'une part et « solitaire » d'autre part. En particulier, le niveau individuel suppose des processus cognitifs et sociaux au niveau intraindividuel, analysés dans les individus (compétences cognitives, raisonnement inductif et déductif, représentations…). Le niveau interindividuel suppose quant à lui toute une gamme de nuances de rapports de coprésence entre individus, allant d'une synchronie et de la proximité physique entre individus, à des relations asynchrones et une forte distance physique (Dillenbourg et al., 1996). Les situations solitaires telles que définies ici, font partie de ce niveau d'analyse interindividuel qui décrit un faible degré de coprésence entre les individus.

3.1.4 – A propos des conséquences des situations solitaires

Le problème change selon les situations – Dans les situations sociales de travail (solitaires ou collectives), plusieurs problématiques se présentent à la fois à l'enfant. Il rencontre une situation qui lui pose des difficultés à cause des contraintes physiques et sociales de l'environnement (un temps limité, des ressources limitées…) et à son propre état cognitif (compétences, connaissances préalables…). En outre, dans les situations d'interactions collaboratives : plusieurs individus participent à l'activité, avec des cognitions différentes, qui tentent d'être cohérentes ; une conduite collective est créée qui se superpose aux conduites individuelles avec sa propre structure (par exemple : négociation des significations du problème ou entraide). L'activité réalisée par ces individus en côte à côte fait émerger de nouveaux problèmes relatifs à l'objet qui n'est pas interrogé de la même façon : la démarche collective implique une problématisation nouvelle de la tâche. Les situations solitaires ont également des contraintes spécifiques qui les rendent originales, notamment : l'autonomie de l'individu lui permet de contrôler entièrement le déroulement de l'activité ; l'absence de partenaire limite la division du travail et implique de réaliser personnellement toutes les étapes du travail. Les activités émergentes peuvent donc être spécifiques à ces situations.

L'articulation des situations solitaires et collectives – Les situations solitaires peuvent être différenciées des situations collectives selon que l'enfant interagit ou non avec un pair pour résoudre le problème (voir Figure 3). Il s'agit d'une distinction essentielle dans l'espace social. La dynamique solitaire-collective prend des configurations particulières selon que l'enfant reste dans une situation particulière, ou passe d'une situation sociale à l'autre. En milieu scolaire, ces transitions sont fréquentes (travail à la maison, travail individuel, exposé au groupe, collaboration…). Les enfants ont des indices pour savoir si l'adulte va leur demander de travailler seul ou en groupe (comme la matière, le niveau d'activité de la classe, l'activité prévue, le matériel présent…). La succession des situations sociales prévues par l'enseignant est généralement planifiée d'un point de vue pédagogique. Ainsi on fait travailler les enfants ensemble pour qu'ils exploitent le plus possible un matériel ou individuellement pour qu'ils

puissent faire une tache requérant beaucoup d'attention. Dans le présent travail on cherche à savoir si la variation des situations sociales favorise des apprentissages. Les travaux de Roubtsov (1991/2004) indiquent que la pluralité des situations collectives de travail facilite la compréhension par les enfants de la manière d'étudier un phénomène et l'acquisition de concepts physiques. Plus exactement, nous cherchons à savoir si le fait de passer successivement par des situations solitaires et collaboratives, du fait qu'elles engagent l'enfant dans des activités différenciées, amène l'enfant à développer des conceptions de physique. Le développement est ici interrogé par l'intérêt de transiter d'une situation à une autre (Zittoun & Perret-Clermont, 2009).

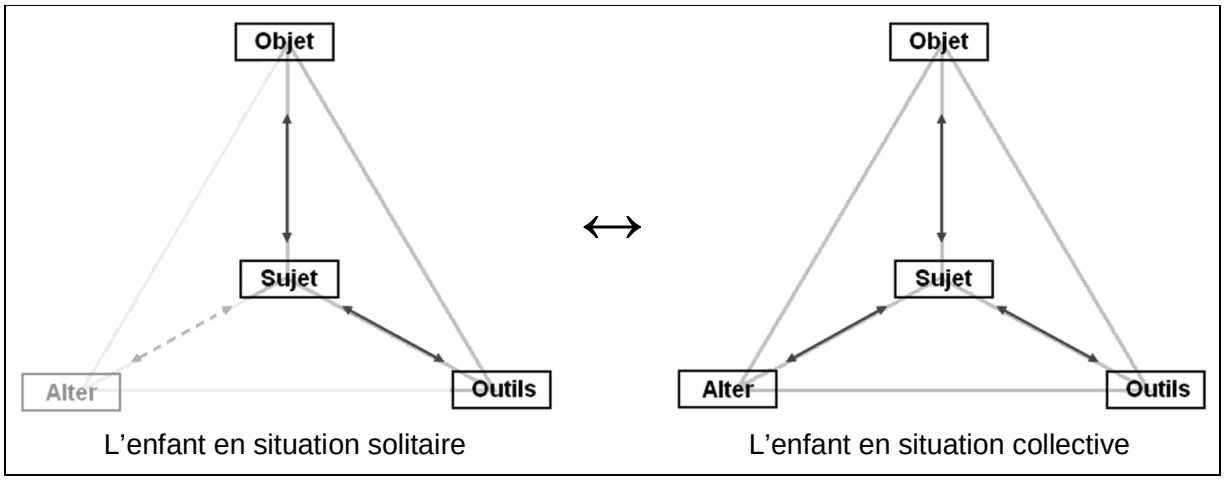


Figure 3 – Le prisme socioconstructiviste en fonction de la situation solitaire ou collective

Trois pistes d'interprétation – Des travaux ont permis de repenser la situation solitaire en articulation avec des situations collectives. Le repérage de ces travaux a été compliqué du fait que les auteurs ne proposent pas de description des situations solitaires, ou bien n'ont pas d'intention de les étudier, ou encore trouvent d'autres interprétations possibles. Bien souvent, ils se réfèrent à des conditions expérimentales individuelles sans utiliser le mot *solitaire*, qui pour le coup aurait permis une recension plus aisée. Trois thèses explicatives sont illustrées avec ces travaux. Elles montrent chacune une approche différente de l'articulation des situations individuelles et collectives. La première thèse suppose que le travail individuel permet de limiter ou de parer des effets négatifs de l'interaction entre pairs. La thèse suivante suppose que l'effet des articulations de situations collaboratives et solitaires dépend du niveau de développement de l'enfant ou de ses connaissances préalables. La thèse suivante suppose enfin que les enfants mettent en place des activités différentes de situation en situation, et que l'articulation de situations solitaires et collaboratives amène un progrès des activités. Ces pistes ne sont pas exclusives. Bien au contraire, elles peuvent même être complémentaires ou être plus ou moins évidentes selon les articulations de situations individuelles et collectives.

3.2 – Parer aux effets négatifs de la collaboration (thèse 1)

En invoquant des raisons différentes, plusieurs travaux ont pointé des effets négatifs du travail collaboratif. En effet, les conséquences positives n'éludent pas des effets négatifs à d'autres niveaux, en particulier des effets d'influence sociale qui peuvent orienter les élèves vers des réponses problématiques. D'autre part, les interactions collaboratives peuvent faire changer les conceptions des enfants, mais ce changement peut être favorable ou défavorable du point de vue de l'adulte ou de l'expert qui évalue la justesse des connaissances, compétences ou conceptions à travers une échelle de jugement (Tudge, 1989).

3.2.1 – Les effets paradoxaux émotion-communication-cognition

Des effets contradictoires dus aux contraintes sociales et émotionnelles – Le travail collaboratif a parfois donné lieu à des résultats paradoxaux, avec des élèves qui semblent alors « régresser » ou produire des réponses considérées comme étant moins bonnes, après un entraînement collaboratif. Or travailler en collaboration est coûteux pour les élèves sur le plan de l'attention, du fait des aspects communicationnels et affectifs. Jackson, Kutnick et Kington (2001) montrent que la collaboration dyadique d'élèves de 6 ans, appariés en genre, et travaillant sur ordinateur, peut causer des problèmes de focalisation sur la tâche à réaliser. Ces élèves peuvent davantage s'engager dans des discussions hors tâche. Au contraire ceux qui travaillent seuls restent plus concentrés sur la tâche et parviennent alors à de meilleures performances. La communication entre partenaires est donc un facteur crucial pour promouvoir un apprentissage collaboratif, cependant elle oblige à prendre en compte de nouvelles contraintes. On sait par exemple que la qualité des liens affectifs entre enfants joue un rôle important dans la qualité des interactions et de la collaboration (Sorsana, 1997). De plus, communiquer entre partenaires dans le cadre d'un travail, mobilise beaucoup d'énergie et d'attention. La compréhension des propos du partenaire constitue un travail supplémentaire, qui mobilise des ressources pragmatiques pour interpréter les conduites. Le travail collaboratif exige donc, en outre des efforts cognitifs, que les individus régulent leurs efforts communicationnels et émotionnels. Se séparer à certains moments pour travailler seul pourrait permettre aux enfants de réguler ces efforts (Azmitia, 2000). Ces effets socio-affectifs peuvent avoir des résultats positifs et négatifs sur la cognition. Par exemple, ce sont aussi ces contraintes communicationnelles qui renforcent la nécessité de se faire comprendre et donc de soutenir l'interaction. Nous ne focaliserons pas sur ces aspects sociaux et relationnels. Ils restent cependant une piste tout à fait importante pour des recherches futures. L'étude de Tudge (1989) met quant à elle l'accent sur un phénomène plus socio-cognitif.

3.2.2 – Des effets négatifs dus au fonctionnement collectif : l'étude de Tudge (1989)

Objectif – Tudge (1989) doute d'un effet forcément positif des situations de conflit socio-cognitif. Il propose que les interactions entre pairs favorisent le changement cognitif, sans présupposer d'un progrès. Le travail collaboratif conduirait donc à une déstabilisation des connaissances, mais ceci n'impliquerait pas forcément un bénéfice pour l'élève.

Méthode – L'auteur utilise la tâche de la balance : les enfants doivent mettre en équilibre des balanciers au dessus d'un pivot (Inhelder & Piaget, 1955 ; Karmiloff-Smith & Inhelder, 1975). Deux variables physiques sont à prendre en compte pour réussir la tâche, en particulier pour des balances dissymétriques : les masses posées sur les bras des balanciers et les distances au pivot. Il est ainsi possible d'étudier comment l'enfant parvient à poser les balanciers en équilibre et quelle stratégie ils mettent en place, et de définir leur conception lorsqu'ils expliquent le phénomène. Pour les prédictions, le degré d'hésitation des enfants évalue la confiance qu'ils accordent à leurs prédictions. Des enfants de 5-7 ans, sont appariés en dyades. En pré- et post-tests individuels, l'adulte présente des balanciers et demande de prédire puis de justifier leurs réactions. Il évalue alors les réponses individuelles en identifiant des stratégies utilisées. Après le pré-test, quatre groupes expérimentaux sont composés selon que les enfants s'entraînent seul, avec un partenaire de même niveau, avec un partenaire de niveau supérieur ou avec un partenaire de niveau inférieur. Cet entraînement consiste à refaire des prédictions sur les réactions des balanciers, mais s'ils travaillent en dyades ils doivent discuter pour trouver un accord. Enfin le post-test est similaire au pré-test.

Des évolutions contrastées – Les résultats montrent des différences de performances entre les quatre conditions : les enfants travaillant seuls ou avec un pair de même niveau évoluent peu ; les enfants appariés avec un pair de niveau supérieur progressent ; enfin ceux qui travaillent avec un pair de niveau inférieur, régressent généralement. Ces résultats s'expliquent en termes de confiance d'une part, et de qualité de la structuration cognitive d'autre part. Pour les trois conditions collaboratives, le raisonnement mis en place durant les interactions a un rôle important sur l'évolution cognitive des enfants : lorsqu'un raisonnement plus sophistiqué que le niveau initial de l'enfant est mis en place en dyade, un progrès cognitif s'ensuit en post-test ; à l'inverse, si durant l'interaction, les échanges sont moins sophistiqués, une régression a lieu. La qualité du raisonnement explique donc les évolutions.

Influence et confiance – Le niveau du partenaire n'est cependant pas un indicateur automatique des progrès des enfants. Une analyse plus fine des conduites apporte une autre explication : le degré de confiance accordé dans les prédictions. L'utilisation de certaines règles de résolution pose parfois problème avec certains balanciers, et conduit à des hésitations dans les prédictions ; d'autres règles en revanche ne laissent aucun doute sur la prédiction à effectuer. Les enfants de plus haut niveau, quand ils utilisent des règles qui leur donnent plus de certitude, même si elles sont inefficaces, influencent largement les plus faibles qui utilisent des règles auxquelles ils font peu confiance. Cette influence sur la base de la confiance, peut les faire progresser ou régresser indépendamment de la qualité de la stratégie du partenaire. Ceci rappelle la nécessité et la difficulté d'appréhender les conditions favorables à une résolution cognitive du problème, plutôt qu'à une résolution sociale. Ici l'entraînement ne permet pas aux enfants de recueillir de feedback de la tâche. L'une des solutions est alors d'impliquer davantage l'adulte dans un guidage de l'activité : il aide le raisonnement des enfants à questionner la situation, sans pour autant donner de réponse au problème. Les deux études suivantes confirment cette importance de la confiance, avec des individus plus âgés, concernant le développement de connaissances scientifiques, et les conséquences du travail collaboratif.

3.2.3 – Le développement de conceptions scientifiques erronées : l'étude de Levin et Druyan (1993)

Objectif – Levin et Druyan (1993) se sont intéressés à la distinction entre conflit intraindividuel et conflit interindividuel et à l'influence de ces conflits sur le développement conceptuel. En effet, plusieurs réponses à un problème peuvent survenir du fait d'une discussion entre pairs ayant un point de vue différent, ou bien du fait que l'adulte demande de faire un choix entre des réponses contradictoires.

Méthodologie – L'expérimentation est menée dans le domaine de la physique, à propos d'un problème qui peut être résolu de deux manières différentes, l'une étant relativement intuitive et l'autre étant construite conceptuellement. Le problème porte sur la vitesse des objets. Des points d'un même objet ont des vitesses différentes dès lors que la trajectoire de l'objet n'est pas rectiligne. Or cette trajectoire rectiligne est en fait un cas rarement observé. En pré- et post-tests, des enfants de 11, 13 et 15 ans, doivent résoudre deux problèmes présentés sur ordinateur. Il s'agit à chaque fois de comparer la vitesse de deux objets en mouvement synchronique circulaire, en indiquant si les objets se déplacent à même vitesse ou non : dans un cas deux chiens courent indépendamment, côte à côte, l'un couvrant un cercle plus restreint que l'autre (problème « autonomous motion ») ; dans le second les deux chiens sont présentés comme des éléments d'un manège et sont donc rattachés (problème « common carrier »). Dans le premier problème, on attend des enfants qu'ils développent l'idée que le chien à l'extérieur du cercle court plus vite car il couvre une plus longue distance. Dans le second problème en revanche, comme ils appartiennent à un même objet, les élèves devraient avoir plus de difficulté à donner la même réponse. Après le pré-test, des groupes mixtes de quatre élèves sont composés pour l'entraînement. Trois conditions expérimentales sont prévues : travail collaboratif en petit groupe avec discussion pour trouver un accord commun ; travail individuel avec des propositions de réponses de l'adulte ; travail individuel sans aide extérieure. Pour favoriser la confrontation d'idées dans la condition groupale, l'adulte intervient en proposant une contradiction si un accord est d'emblée trouvé. En post-test, des tâches similaires sont proposées.

Des évolutions conceptuelles paradoxales – En pré-test, généralement les enfants expliquent le premier problème par l'une ou l'autre des conceptions attendues. Le second problème est majoritairement expliqué par le fait que les deux chiens sont fixés sur un même objet et iraient donc à la même vitesse. De pré- à post-test, les conceptions des enfants progressent pour le premier problème mais pas pour le second. Selon les auteurs, les élèves ont donc ici une conception erronée résistante (*misconception*). Pour le premier problème, les conceptions correctes progressent dans les groupes expérimentaux, mais pas dans le groupe contrôle. Pour le second problème en revanche, des régressions ont lieu dans tous les groupes. Mais le groupe collaboratif montre les évolutions les plus fortes, avec à la fois plus de progrès et plus de régressions, tandis que les autres groupes expérimentaux évoluent peu. Ce résultat parait indépendant de la composition des groupes et des réponses individuelles initiales.

Des résultats cohérents d'après la qualité des interactions – L'analyse des interactions permet de repérer des changements individuels de points de vue durant les interactions, et d'éventuels conflits cognitifs intraindividuels. La thèse du conflit socio-cognitif est renforcée : en fonction des conceptions initiales des enfants, un conflit interindividuel peut être provoqué, qui

apparaît comme l'une de conditions favorables au conflit cognitif. Alors les interactions entre pairs provoquent des changements cognitifs, mais en fonction des conceptions initiales des enfants. Un conflit interindividuel peut alors engendrer un conflit intraindividuel qui peut alors amener un changement de conception. Mais ce changement ne va pas forcément dans le sens d'un progrès vers des conceptions scientifiques et peut renforcer des conceptions erronées (*misconceptions*). Par contre, les enfants qui donnent les réponses les plus faibles durant l'entraînement, ont tendance à montrer une régression de leurs conceptions ensuite. En effet, les chercheurs tiennent compte de la confiance que les élèves accordent à leurs conceptions : le conflit socio-cognitif parait d'autant plus possible que les élèves accordent de la confiance dans des explications contradictoires. Au contraire, lorsqu'ils accordent de la confiance à une conception commune, le changement conceptuel est plus difficile à obtenir, et une forme de consensus s'établit alors. C'est ce qui se passe dans le cas du second problème, où un obstacle conceptuel empêche les enfants d'élaborer des solutions contrastées. Ceci peut expliquer la persistance de conceptions scientifiquement erronées du fait d'un travail collaboratif.

3.2.4 – Un effet de confiance exagérée : l'étude de Puncochar et Fox (2004)

Objectif des chercheurs – Puncochar et Fox (2004) réalisent une étude qui vise à la fois la qualité du raisonnement et de la prise de décision, mais également le degré de confiance que les sujets accordent à leurs réponses. Leur but est de savoir si le degré de confiance des participants diminue en même temps que leur réponse progresse en qualité.

Méthodologie – Trois études sont réalisées. Durant plusieurs semaines, des étudiants doivent répondre à des questionnaires de type « choix multiple » à propos de psychologie. Chaque semaine, ils répondent d'abord à un questionnaire individuel avant de retravailler les questions en petits groupes de 3-4 étudiants. Pour chaque question, les participants doivent en plus indiquer leur degré de confiance dans la réponse donnée. Dans la seconde étude, deux séances d'instruction sont organisées par l'enseignant au cours du processus expérimental. Dans la troisième étude, après entraînement, les connaissances et la confiance des participants sont re-évaluées, puis a lieu une nouvelle phase d'entraînement et une phase finale d'évaluation.

Un effet de confiance exagérée – Dans la première étude, les individus donnent en groupe des réponses de meilleur niveau, mais montrent également plus de confiance dans leur jugement, pour des réponses correctes comme pour des réponses incorrectes. La deuxième étude, qui prévoit un enseignement durant l'expérimentation, confirme le premier résultat mais les individus donnant des réponses incorrectes développent de plus en plus de confiance lorsqu'ils travaillent en groupe, et de moins en moins lorsqu'ils travaillent individuellement. La troisième étude révèle un effet paradoxal entre les réponses individuelles et collectives : les individus sont moins confiants que les groupes lorsqu'ils donnent pourtant des réponses correctes ; les groupes se montrent plus confiants que les individus quand ils donnent des réponses incorrectes. De ces trois études, Puncochar et Fox (2004) déduisent un effet général du travail en groupe : un effet de « confiance exagérée » (*overconfidence*) baptisé *« two heads are worse than one »*. Cet effet se produit y compris lorsque l'enseignant donne des enseignements qui présentent les informations attendues. Les sujets accordent une confiance plus grande dans la réponse qu'ils donnent dans un travail collaboratif, et doutent davantage lorsqu'ils s'entraînent individuellement. Ceci pose un problème notamment s'ils ont développé des conceptions erronées ou si l'analyse critique est

encore requise pour dépasser les conceptions qu'ils ont commencé d'élaborer. Contrairement à d'autres travaux qui montrent que le travail collaboratif peut favoriser une pensée critique (Anderson, Howe, Soden, Halliday & Low, 1999 ; Anderson et Soden, 2001), cette pensée pourrait en partie être limitée du fait que les pairs en collaboration doutent moins de leurs productions et des connaissances élaborées. Or la remise en question d'une conception et de réponses est un pas nécessaire pour l'élaboration constructive de conceptions. Des étapes solitaires pourraient renforcer cette possibilité de remise en question.

3.2.5 – Compenser les effets négatifs du travail collaboratif par le travail solitaire

La prise en compte du point de vue individuel – Dans cette première piste d'un effet négatif de certaines situations collaboratives, le travail solitaire s'avère parfois préférable, du fait que les participants remettent plus facilement en cause leurs réponses préalables et élaborent de nouvelles conceptions. Sachant que le travail collaboratif est favorable au développement des conceptions, le travail solitaire s'avèrerait alors par moment un moyen de briser des certitudes collectives et de soutenir les enfants dans la prise en compte de leur propre point de vue initial et la recherche d'une meilleure explication. Cette thèse n'implique cependant que secondairement une articulation particulière des temps de travail solitaires et collectifs.

3.3 – Travailler seul ou à plusieurs : une adaptation nécessaire en fonction du niveau de développement de l'enfant et du cadre (thèse 2)

La question du niveau favorable à un travail collaboratif a été abordée dès les débuts des études en psychologie socio-cognitive, en tant que prérequis au travail collaboratif (Carugati & Mugny, 1985). Les situations solitaires et collaboratives constitueraient à certains moments du développement de l'enfant un avantage pour celui-ci. Le travail solitaire pourrait être favorable en fonction du niveau de développement de l'enfant.

3.3.1 – Différences en fonction du développement de l'enfant

A l'échelle ontogénétique – Le travail collaboratif ne peut produire d'effets cognitifs favorables qu'à partir d'un certain niveau de développement de l'enfant, ce qui constitue un prérequis cognitif du conflit socio-cognitif (Azmitia, 1988 ; Carugati & Mugny, 1985). Un travail solitaire peut être plus profitable qu'un travail collectif, en fonction de certaines périodes du développement. En effet, il faut que l'enfant soit capable d'interagir avec autrui, de prendre en considération des perspectives différentes, d'interpréter des conduites, de réviser ses connaissances personnelles, etc… (Perret-Clermont & Nicolet, 2001). De plus, il faut surtout considérer le niveau de développement par rapport à la tâche à résoudre. La période d' « autonomisation du développement » enfin constitue une situation où l'enfant peut finalement parvenir aux mêmes performances individuellement et en collaboration (Mugny, 1985, p.68-69). La recherche suivante indique spécifiquement que la situation individuelle peut être initialement plus profitable que la situation collaborative.

3.3.2 – Un travail solitaire peut être bénéfique en fonction du niveau de développement de l'enfant : l'étude de Murphy et Messer (2000)

Objectif – Dans la tâche de la balance (« balance beam task »), l'interaction collaborative de petits groupes d'enfants de 5-7 ans est bénéfique à leurs apprentissages individuels, notamment s'ils sont initialement de niveaux différents, et à condition qu'ils aient dépassé un certain niveau de développement (Pine & Messer, 1998, 2000). Le travail de Murphy et Messer (2000) indique que le travail individuel peut engendrer de meilleures performances cognitives, en fonction du niveau cognitif de l'élève et dans certaines circonstances. Ainsi l'objectif de Murphy et Messer (2000) est d'abord d'étudier le transfert de connaissances acquises durant l'entraînement sur un autre problème, en fonction du niveau de compétence des enfants. Cependant un effet imprévu survient car certains enfants progressent plus en situation solitaire.

Méthodologie – La tâche de la balance a été utilisée avec des participants de 5-7 ans. Les enfants peuvent mettre un balancier en équilibre en fonction de la longueur des bras et en fonction du poids, identique ou différent, aux extrémités. Quatre de ces balanciers sont symétriques et quatre autres sont dissymétriques, Ceci oblige à trouver un centre de gravité et à faire abstraction du centre géométrique. Durant des pré- et post-test individuels, les enfants doivent équilibrer les balanciers et expliquer à l'adulte pourquoi ils sont en équilibre ou non. Durant l'entraînement, les enfants peuvent utiliser une nouvelle balance et des objets à placer au dessus. Certains sont soutenus par l'adulte qui explique comment mettre les objets en équilibre, d'autres travaillent en petits groupes de 3-4 individus, et enfin d'autres enfants s'entraînent seuls. Dans cette dernière condition, l'adulte ne donne pas de feedback sur le fonctionnement du balancier mais demande d'expliquer comment créer un équilibre. L'évolution cognitive est évaluée en fonction des réussites à équilibrer les divers types de balanciers et à expliquer le phénomène. Les enfants sont donc évalués depuis un niveau intuitif, vers des niveaux de plus en plus explicites (Karmiloff-Smith, 1992). Les enfants sont donc distingués selon qu'ils savent résoudre le problème intuitivement, qu'ils utilisent une stratégie de résolution, ou qu'ils savent expliquer le phénomène.

Un travail solitaire est bénéfique à certains niveaux de développement – Pine et Messer (1998) avaient remarqué que des enfants de 5-7 ans de niveau d'abstraction non-verbal, ne progressent pas à la tâche de la balance, même avec l'appui d'un travail collaboratif. A ce niveau, les enfants sont résistants au changement. Ils centrent le balancier de manière géométrique au dessus du pivot et supposent que les balanciers asymétriques ne peuvent pas être mis en équilibre. L'étude de Murphy et Messer (2000) constate que le travail avec l'aide de l'adulte ou entre pairs favorise des apprentissages, mais parfois aussi en condition solitaire. De plus, tous les enfants de ce niveau d'abstraction non-verbal progressent s'ils sont entraînés individuellement, mais pas lorsqu'ils s'entraînent en collaboration ou avec le soutien de l'adulte. Ces enfants, ainsi entraînés solitairement, améliorent leur compréhension du problème et se rendent compte d'une contradiction entre leur stratégie et les réactions des balanciers. Un conflit cognitif serait mis en œuvre dans ces situations. Selon les auteurs, ces enfants consolident ainsi une compétence.

Limites de l'étude – Cette étude remarque des effets positifs d'un entraînement solitaire. Mais, les auteurs concluent à un processus de développement endogène. Ils ne considèrent pas spécifiquement la situation solitaire. Il manquerait donc à cette étude un groupe contrôle sans

entraînement. Seule cette condition expérimentale conviendrait à l'explication des chercheurs puisqu'on pourrait alors savoir si des processus psychologiques endogènes ont provoqué une restructuration cognitive. Au contraire, une explication à ce résultat est selon nous à rechercher dans les conditions expérimentales, à savoir que ces enfants ont un entraînement différencié. En l'occurrence, il s'agit d'une étape où l'enfant n'est pas encore capable d'exprimer une explication mais se concentre davantage sur son développement gestuel. Le travail solitaire pourrait ici être propice à des ajustements au niveau des compétences gestuelles et de comportements matériels pour résoudre certains aspects du problème, ici la mise en équilibre de la balance (voir également : Pine, Lufkin & Messer, 2004).

3.3.3 – Difficulté de la tâche et feedbacks de la situation solitaire

Consolider des compétences implicites pour pointer de nouvelles difficultés – Les compétences implicites, élaborées précocement, semblent nécessaires à l'élaboration de formes explicites de causalités physiques (voir 1.1.3). Les résultats de Murphy et Messer (2000) indiquent un niveau de développement où les connaissances sont implicites mais peuvent être améliorées par un travail individuel. Qu'est-ce qui peut être favorable au développement de ces compétences du fait de la situation concrète ? Bachelard (1938) considère l'obstacle épistémologique comme inévitable et indispensable. Le développement d'une connaissance répond à un besoin de l'enfant de dépasser certaines difficultés que ces compétences précédentes ne pouvaient contourner. Dans une perspective piagétienne, la difficulté à résoudre un problème se présente comme un élément fondamental du développement cognitif : la difficulté indique une limite et donc un besoin d'adaptation cognitive. C'est ce que les contradictions, le déséquilibre et le processus d'équilibration traduisent. Le conflit socio-cognitif poursuit dans cette lignée en répondant à de nouvelles difficultés de la pensée. Si les compétences implicites se développent en situation solitaire, c'est que certains aspects de cette situation favorisent le changement.

De la confrontation à la matérialité de l'environnement – La situation solitaire et la situation collaborative ont des contraintes matérielles et sociales contrastées. Travailler seul permet à l'enfant de se confronter à certaines difficultés, notamment à des contradictions dans la relation sujet-objet. Travailler en collaboration aide à identifier de nouvelles difficultés et à élaborer socialement de nouvelles contradictions. Dans les deux conditions, l'action sur les objets de l'environnement peut intervenir. Mais il faut s'attendre à ce que le problème soit perçu différemment, et appelle donc à des adaptations cognitives différentes. Il y a dans la situation solitaire une rencontre apparemment spécifique avec l'environnement matériel.

La particularité du feedback – Dans une tâche où les aspects matériels sont importants, comme c'est le cas des problèmes de la physique, le problème présente des conséquences matérielles à appréhender. Les aspects concrets du phénomène sont perçus physiquement par les individus, si bien que ceux-ci peuvent directement agir dessus et observer les conséquences de leurs actes. Généralement, les études socioconstructivistes ont étudié le feedback de l'adulte ou du contexte social. Le feedback matériel est beaucoup moins analysé (Tudge & Hogan, 1999). Ce feedback de l'objet permet pourtant aux enfants de rencontrer des incohérences avec leur propre système cognitif, c'est-à-dire avec leurs attentes et leurs connaissances du monde. Cela crée dans la perspective piagétienne où l'action est centrale, des contradictions, qui peuvent amener un déséquilibre ou conflit cognitif qui pousse l'enfant à adapter sa conception. Quelle implication

peut avoir le fait de travailler à plusieurs sur un même objet ? Un certain enrichissement est possible mais également le rapport de l'enfant à l'objet peut en être troublé. Selon Tudge & Winterhoff (1993), il faut considérer dans une perspective vygotskienne que le feedback de l'objet participe de la zone de développement proximal. D'une part, l'interaction avec autrui s'appuie sur des objets en tant que médiateurs de la pensée, et d'autre part le feedback des objets agit sur le développement de l'enfant. Même l'accompagnement de l'enfant par un plus compétent que lui, notamment en physique, doit s'appuyer sur un feedback de l'objet qui lui montre que l'explication enseignée est cohérente. Plus encore, toujours selon ces chercheurs, il y a une zone proximale de développement en situation solitaire car, malgré les difficultés, le feedback de l'objet permet à l'enfant de dépasser le problème. Ce feedback matériel devient un partenaire de l'enfant, parce qu'il lui renvoie des incohérences ou au contraire de la cohérence avec sa façon de penser les choses.

3.3.4 – Le feedback de la tâche est plus bénéfique si l'enfant travaille seul : les études de Tudge et Winterhoff (1993) et Tudge, Winterhoff et Hogan (1996).

La difficulté de la tâche dépend du feedback – Tudge et Winterhoff (1993 ; Tudge et al., 1996) s'intéressent au feedback de la tâche pour savoir quand la collaboration entre pairs est préférable. L'étude du feedback de l'objet n'implique pas une vision empiriste de la connaissance, car ce feedback doit d'abord être perçu comme pertinent par l'enfant. Dans le prolongement de leurs précédents travaux et en utilisant à nouveau la tâche de la balance (Tudge, 1989), Tudge et Winterhoff (1993) et Tudge et al. (1996) comparent l'évolution d'enfants, selon qu'ils disposent ou non d'un feedback de la tâche.

Méthodologie – Des participants de 5-6 ans, appariés en dyades de même genre, travaillent sur la tâche de la balance. Les quatre conditions expérimentales prévoient un entraînement seul, ou avec un partenaire de même niveau, ou bien avec des partenaires de niveau différents. L'entraînement a lieu à trois reprises. Durant chaque étape, les enfants font des prédictions et les justifient, en se mettant d'accord s'ils travaillent en dyade. Ils rencontrent des balances de difficulté adaptée à leur niveau et des balances ayant une difficulté légèrement supérieure. Les trois phases sont espacées par un travail individuel permettant de suivre leur évolution cognitive. Pour chaque condition, la moitié des participants peut observer la réaction effective de la balance à la fin de l'étape d'entraînement, tandis que l'autre moitié des participants est dépourvue de ce feedback. Les enfants sont évalués en fonction des stratégies de résolution (voir 3.3.3).

Le feedback matériel favorise les progrès des élèves solitaires – De manière générale, le feedback de la tâche favorise des progressions continues et stables des explications des enfants pour l'ensemble des participants. Notamment le fait de collaborer avec un partenaire de niveau supérieur produit un apprentissage plus important que dans les autres groupes lorsqu'il n'y a pas de feedback de la tâche. Mais, au contraire, lorsque ce feedback matériel est disponible, les enfants qui travaillent seuls progressent davantage que les autres. Tudge et Winterhoff (1993) indiquent que ces enfants ne sont pas hors tout contexte social : *« the comparisons are not between some children who are working in a social context and others who are in some sense removed from that context. The singletons did not have the opportunity to work with a partner; they were, however, with the experimenter, and the problems on which they were working had been carefully tailored to their current abilities and slightly in advance of those abilities. The*

social world, clearly, is as much a factor for these children as for those who worked with a partner » (p.256).

Une seconde étude – Comment expliquer qu'en ajoutant un moyen de voir se dérouler un phénomène, l'élève solitaire en bénéficie plus que ceux qui peuvent en plus interagir entre pairs ? Tudge et al. (1996) reprennent cette étude, avec un design quasiment similaire et des enfants de 6 à 9 ans. L'entraînement n'est pas répété mais le feedback est à nouveau contrôlé. Cette fois-ci, les interactions avec un pair de niveau supérieur ne favorisent pas davantage les apprentissages par rapport aux autres sujets si le feedback est absent, et la présence du feedback a un effet positif général. Mais à nouveau, les individus en condition solitaire progressent deux fois plus que les sujets en collaboration si le feedback matériel est présent, et cette progression se poursuit entre les post-tests immédiats et différés. Les auteurs suspectent des difficultés de régulation sociale pour les enfants en collaboration : les dyades se démobiliseraient et discuteraient d'autre chose, ou encore une confiance exagérée s'établirait parmi les dyades, ou enfin il y aurait un problème de collaboration des plus jeunes. Ces arguments avec ceux de Murphy et Messer (2000), selon lesquels des raisons cognitives expliquent ces différences.

Le progrès dépend du feedback et de l'interaction – Alors que Tudge et Winterhoff (1993) présentent en introduction le feedback comme un élément important de la zone proximale de développement en condition solitaire, leurs conclusions restent floues et ils n'expliquent pas leurs résultats. Plus tard, Tudge & Hogan (1999) reviennent sur la notion de feedback : *« These findings suggest that a partner may not be necessary, if the problem given are tailored to the level of the child and contingent feedback is given. But when feedback is not given, having a partner may be more conducive to learning »* (p.59).

3.3.5 – La structuration sociale de la tâche

Le rapport à l'adulte et la construction de l'objet – Des études de Tudge (1992 ; 1993 ; 1996), il ressort que le concept de difficulté de la tâche est relatif, et qu'il englobe plusieurs aspects tels que le niveau de développement de l'enfant, la possibilité d'un feedback matériel de la tâche ou la nature individuelle ou collective du travail. Pour beaucoup d'enfants, l'objet est désigné par l'adulte et des activités sont organisées intentionnellement pour les confronter à une difficulté nouvelle de cet objet. En fonction de leur développement, des expériences sont façonnées pour leur pointer un feedback contradictoire ou contre-intuitif. C'est pourquoi les parents peuvent décider de faire travailler l'enfant seul face à un problème de physique afin qu'il se confronte personnellement, en fonction de ces connaissances aux difficultés choisies, qu'il construise des moyens de dépasser ses propres contraintes. Selon Tudge & Hogan (1999), *« most studies involving contrasts between dyads (or small groups) and individuals assume that individuals are working alone, simply because they have no partner. In fact, of course, the social world is always present. […] It is present in the materials provided, the way in which the setting is arranged (from a university laboratory or a relatively secluded area in the child's school), and in so many other ways. »* (p.59). L'interaction entre partenaires, parce qu'elle focalise l'attention des enfants sur des aspects dialogiques, peut faire perdre du relief à la matérialité de la tâche. En ce sens, l'interaction avec des partenaires pourrait à certains moments masquer à l'enfant la difficulté du problème pour son propre niveau de fonctionnement cognitif et l'empêcher de comprendre pleinement le problème et ses contraintes.

L'étude de Hugues & Greenhough (1995) – Face à un problème informatique de type Logo, Hugues & Greenhough (1995) suivent des enfants de 6-7 ans qui établissent un trajet virtuel pour une tortue représentée à l'écran. A chaque pas effectué, la tâche renvoie un feedback immédiat et visuel. Les enfants voient si la tortue suit le parcours, et donc si leurs actions sont correctes vis-à-vis de leur objectif. Les chercheurs comparent des enfants entraînés solitairement, ou bien en dyades, ou bien avec l'adulte, ou encore avec un pair et l'adulte. L'évolution des performances individuelles n'est pas différente selon les conditions expérimentales. L'analyse de la phase d'entraînement montre simplement des différences dans la façon de travailler : en particulier, les dyades d'enfants sans adulte produisent davantage de mouvements et davantage d'erreurs mais finissent rapidement le parcours ; les enfants travaillant avec l'adulte, avec ou sans partenaire, font moins de tentatives et d'erreurs et prennent plus de temps. Ainsi, le feedback matériel n'a pas un rôle aussi important en fonction des situations sociales.

3.3.6 – L'exploration du contexte et l'appropriation individuelle

Travailler individuellement pour constituer des connaissances initiales – Dans cette section, nous avons vu que la situation solitaire peut être plus favorable à certains moments du développement. Ces résultats plutôt convergents sont chaque fois inattendus par les chercheurs. L'explication trouvée est généralement que l'enfant est en train de constituer des connaissances, grâce au feedback matériel, qu'il pourra ultérieurement mobiliser en collaboration avec des pairs. Les habiletés dont il disposera plus tard le dispenseront de l'interaction avec la tâche ou avec autrui. Il atteindrait alors la phase d'autonomisation (Carugati & Mugny, 1985). On peut se demander si la situation solitaire peut être favorable dans d'autres périodes de développement. En particulier, il est possible qu'au moment de collaborer, l'enfant rencontre un outil qu'il ne maîtrise pas. Ce problème dans le problème exige-t-il que l'enfant travaille seul avec cet objet pour en avoir une connaissance qu'il pourra ensuite re-utiliser collectivement ? On pourrait voir ici un processus d'appropriation des fonctionnalités de l'outil (Vygotski & Luria, 1930/1978 ; Rabardel & Vérillon, 1985 ; Rogoff, 1998). Or les concepts constituent également des outils. Même le temps peut être pensé comme un outil que l'enfant s'approprie (Chazal, 2004 ; Tartas, 2009). Faut-il alors s'attendre à ce que l'enfant utilise aussi des temps solitaires pour élaborer ces constructions face au réel, pour pouvoir ensuite travailler avec autrui ?

La pertinence de la situation solitaire du point de vue adulte – Le croisement des dimensions d'interaction horizontale (avec les pairs) et verticale (avec l'adulte) permet de s'interroger sur les interactions sociales et matérielles qui composent la situation individuelle. En fonction de la difficulté de la tâche, et de son intérêt pour le développement de l'enfant, la situation solitaire peut être plus favorable au développement par moment. C'est pourquoi l'adulte peut amener l'enfant à travailler seul pour rencontrer une tâche qui l'oblige à ajuster ses conduites faces aux contraintes matérielles et à reconsidérer ses connaissances : « *although Vygotski for the most part discussed interactions in the zone of proximal development in the context of teacher/child interactions, he also (Vygotski, 1978) argued that in solitary play a child in effect may create a zone of proximal development (Nicolopolou, 1993). The same might be true when a child works alone on a problem that is slightly more difficult than he or she can manage independently, but receives feedback from the materials* » (Tudge & Winterhoff, 1993, p.245).

3.4 – La fonction du cycle solitaire-collaboratif (thèse 3)

Les deux premières pistes indiquent que le travail solitaire peut avoir des fonctions bénéfiques par rapport au travail collaboratif et en fonction du niveau de développement de l'enfant. La thèse suivante propose d'articuler les situations solitaires et collaboratives de manière à faire émerger des processus cognitifs. En effet, les travaux du courant socio-cognitif montrent que le travail collaboratif améliore des performances individuelles, mesurées en situation individuelle, par la mise en place de processus cognitifs originaux. Dans la troisième thèse, est étudiée la possibilité que des phases de travail solitaires transforment le travail collaboratif et vice-et-versa. Elle permet de s'interroger sur l'utilité d'articuler des phases individuelles et collectives de travail pour le développement de conceptions en physique.

3.4.1 – Types de tâche et traitement d'informations

Tâche rapides et traitement de l'information – D'après Cohen (1994), l'effectivité d'un travail individuel ou collectif dépend du type de tâche effectuée. Notamment, la tâche peut être « ouverte » ou « fermée », bien qu'il soit difficile de tirer des conclusions indiquant qu'un travail solitaire soit préférable dans un cas de figure plutôt qu'un autre (Moscovici & Paicheler, 1973). Selon Johnson et Johnson (1985), un travail scolaire individuel nécessite que les tâches soient relativement simples. Des tâches de traitement rapide d'information comme le « brainstorming », indiquent par exemple que travailler seul favorise le rappel ultérieur d'informations en groupe.

3.4.2 – Du bénéfice des situations solitaires avant le travail collectif : l'étude de Leman et Oldham (2005)

Objectif – Généralement, les études sur le travail collaboratif considèrent des performances individuelles selon que l'entraînement est individuel ou collectif. Les travaux du courant *« collaborative memory »* permettent de mieux comprendre comment soutenir des performances collectives par un travail individuel. Généralement, les performances collectives sont plus riches que les performances individuelles. Cependant, il y a une difficulté à comparer des réponses individuelles et des réponses collectives. Concernant l'étude de la mémoire et de l'activité de « brainstorming », une méthode consiste à comparer la réponse de groupes réels, obtenue avec des individus en interaction, à la réponse issue de l'addition des réponses de plusieurs participants qui n'interagissent pas. On parle alors de groupe réel et de groupe nominal (Moscovici & Paicheler, 1973). Lorsqu'on compare les performances de dyades réelles à celles de dyades nominales, les réponses sont plus riches dans ce second cas de figure. Les groupes s'avèrent plus productifs s'ils produisent individuellement leur réponse avant de les regrouper. Les performances recomposées a posteriori, sont meilleures que celles des groupes ayant réellement interagi. Cela permet de s'interroger sur l'articulation de temps de travail individuels et collectifs. Les études sur le brainstorming, réalisées auprès d'adultes, ont été répliquées avec des enfants.

Méthodologie – Leman et Oldham (2005) renouvellent cette étude avec des enfants âgés de 7 et 9 ans. Ils sont regroupés en dyades de même âge ou bien d'âges différents. Les participants mémorisent deux listes mots lus par l'expérimentateur. Sans limite de temps, une liste doit

ensuite être rappelée en dyade donnant lieu à une performance collective de rappel (*« groupe réel »*) ; l'autre est rappelée individuellement, puis les performances sont groupées pour donner une performance de dyade fictive (*« groupe nominal »*).

Résultats – Les dyades d'enfants de 7 ans rappellent moins d'items que les dyades d'enfants de 9 ans. Cependant, comme pour les adultes, les dyades d'enfants de 9 ans et les dyades de 7 et 9 ans, donnent de meilleures performances de rappel en condition de dyade nominale qu'en dyades réelles ; pour les dyades d'enfants de 7 ans, cet effet n'existe pas. Le rappel collectif réel est moins performant qu'un rappel collectif *nominal*, mais cet effet n'a lieu qu'à partir d'un certain âge, lorsqu'au moins un des enfants a 9 ans. L'une des explications est que les enfants les plus jeunes se comportent ensemble comme ils réagissent seuls : ils ont beaucoup moins de compétences collaboratives et n'ont donc pas de difficulté liée à une attention accrue aux processus collaboratifs, comme c'est le cas des plus âgés. Les plus jeunes doivent donc apprendre à collaborer. Pour les plus âgés au contraire, dès qu'un partenaire fait un rappel, cela détourne leur attention et leurs stratégies mnésiques sont altérées.

L'attention sur l'interaction détourne des efforts cognitifs – Le travail collectif permet habituellement de meilleures performances qu'un rappel individuel. Mais à partir d'un certain âge, les compétences de rappel mnésiques sont empêchées lorsqu'elles sont invoquées dans un travail collaboratif, qui mobilise d'autres compétences sociales. L'interaction interindividuelle parait donc avoir un nouvel effet paradoxal en plus de ceux déjà évoqués. Selon l'explication la plus courante, les échanges entre individus bloquent leurs stratégies de rappel : du fait de la co-activité langagière, la verbalisation de l'un entraîne un détournement de l'attention de l'autre qui limite sa stratégie mnésique. D'autres études montrent que le fait de partager une stratégie de rappel limite l'effet négatif du travail collaboratif (Thompson, 2008). Le courant « collaborative memory » illustre ce que peut impliquer la co-construction de connaissances scientifiques. D'une part, la coordination de points de vue peut favoriser de meilleures performances individuelles ultérieures, mais contenir des effets limitatifs pour les individus. Le travail collaboratif n'est pas l'addition de cognitions individuelles. Il implique plusieurs performances simultanées, notamment sociales : intercompréhension, explicitation, planification collective de l'activité... Ce travail de co-participation mobilise des ressources cognitives des individus. Ceci limite leur attention à d'autres aspects de la tâche. De plus, chaque temps de l'interaction semble éloigner les individus de leurs raisonnements initiaux : la différence de points de vue est donc parfois difficile à mettre en œuvre, expliquant la rareté du phénomène du conflit socio-cognitif (Baudrit, 1997). Un travail individuel s'avèrerait alors plus efficace pour leur permettre de reconstruire un point de vue personnel. Enfin dans ces recherches, l'unité d'analyse est la dyade, et l'objectif est de savoir si sa performance peut être améliorée par un travail individuel à un moment donné. Il apparaît qu'effectivement, la séparation des individus pourrait jouer un rôle initial important pour la production ultérieure d'un travail collaboratif.

3.4.3 – Un enchaînement temporel de situations permet de réguler

Etudier la chronologie des situations dans des reprises de l'activité – Les processus individuel et sociaux ne sont pas à séparer absolument dans une perspective socioconstructiviste. Dans cette continuité, il convient de s'interroger sur des transitions entre différentes situations (collectives puis individuelles, individuelles puis collectives, individuelles puis de nouveau

individuelles et ainsi de suite…). L'incidence de ces transitions ou de ces trajectoires pourrait éclairer des processus individuels et sociaux. Par exemple, que peut impliquer le fait de travailler plusieurs fois sur le même problème collectivement ? Brodbeck et Greitemeyer (2000) partent du postulat que les performances collectives impliquent moins d'effets paradoxaux négatifs, si les individus renouvellent régulièrement leur expérience du groupe. Plus ils travaillent ensemble, et plus ils pourraient pallier les difficultés cognitives dues au travail collectif. Au cours de deux expérimentations, ils proposent à des étudiants de réaliser des tâches d'induction logique et mathématiques. Ils comparent en pré- et post-tests les performances de groupes réels de trois participants et de groupes nominaux (on combine les performances de trois individus qui n'interagissent pas) selon que les individus se sont entraînés à plusieurs reprises de manière uniquement individuelle ou collective. Pour cette condition collective cependant, des étapes de travail individuel sont insérées régulièrement. Les résultats indiquent que les groupes nominaux ont une performance supérieure aux groupes réels, mais cet écart se réduit et disparaît au fur et à mesure que les individus ont une expérience de travail en commun. Inversement le fait de reprendre l'entraînement individuel permet de maintenir élevé le niveau de performance de groupe nominal. La répétition des situations collectives permet aux individus de réduire les effets négatifs au travail collectif. Le fait de répéter des situations sociales de travail semble peut ainsi amener des ajustements interindividuels.

3.4.4 – L'élaboration de connaissance comme tâche créative

L'activité scientifique et créative – L'élaboration de connaissances scientifiques est parfois perçue comme une tâche fermée, dans laquelle une seule solution est possible. Dans une perspective plus créative, l'activité des scientifiques consiste aussi à étudier des théories, à les confronter entre elles, à des données, d'argumenter des thèses, de trouver de nouvelles hypothèses, etc… En plus d'être une activité complexe, il s'agit d'une activité créative. Contrairement à une tâche de rappel, la construction de connaissances scientifiques est une entreprise incertaine. C'est parce que cette construction vise un but souvent indéterminé (le chercheur ne sait pas ce qu'on trouvera demain), que cette activité s'apparente à une création. Dans ce type de tâche, quels types de situation ou d'articulation des situations privilégier. ? La créativité a fait l'objet de nombreuses recherches dans la résolution de problème (Lubart, Mouchiroud, Tordjman & Zenasni, 2003). Un questionnaire a été posé à des étudiants et des entretiens ont été réalisés avec des personnes considérées comme créatives dans divers domaines : le travail solitaire est perçu par ces personnes comme une phase créative (Csikszentmihalyi & Sawyer, 1995). Selon Howe et al. (2005), l'effet d'incubation lié au processus créatif, implique un progrès conceptuel différé dans le temps des enfants qui ont collaboré sur le thème de la flottaison. En effet leurs performances individuelles sont meilleures dans un post-test différé. Ces chercheurs invoquent ici une restructuration cognitive intraindividuelle après l'entraînement.

Favoriser l'hétérogénéité et supporter les conditions du conflit socio-cognitif – Des conditions favorables ont été repérées pour soutenir le mécanisme socio-cognitif (Mugny, 1985 ; Perret-Clermont & Nicolet, 2001). Tout d'abord la confrontation de points de vue au niveau collectif nécessite que chaque individu ait élaboré un point de vue propre. La situation de travail solitaire permet-elle d'élaborer un point de vue personnel davantage que la situation collaborative ? Cette centration favorise-t-elle dans un second temps collaboratif, la mise en évidence d'un

conflit de centrations et l'élaboration de coordinations interindividuelles ? Le travail individuel pourrait avoir des effets a priori sur le travail collaboratif. Dans ce cas, il jouerait le rôle de facteur d'hétérogénéité en favorisant le développement de conceptions différentes entre les enfants. La situation solitaire participerait à une dynamique *socio-cognitive* ayant pour effet de favoriser la divergence puis la négociation des points de vue. En effet une légère asymétrie favorise la confrontation de points de vue différents (Mugny, De Paolis & Carugati, 1984). L'une des questions sous-jacentes à l'articulation créative des situations individuelles et collaborative concerne donc la capacité à produire des perspectives différentes.

3.4.5 – Un cycle de situations solitaires et collaboratives favorise la création scientifique : l'étude d'Azmitia et Crowley (2001)

Objectif des chercheurs – Azmitia et Crowley (2001) ont réalisé une étude exploratoire afin d'étudier comment des situations individuelles et collaboratives s'articulent pour donner lieu à un cycle d'activités et comment ce cycle peut soutenir une pensée créative et le développement de théories scientifiques : *« we build on this research to describe the growth of scientific understanding as reflecting the rhythm of relatively individual and social moment of thoughts »* (p.52). Pour articuler travail individuel et collaboratif, les chercheurs repèrent eux aussi un manque initial de littérature sur cette question, et se fondent sur la littérature socio-cognitive, les travaux sur la créativité (Csikszentmihalyi & Sawyer, 1995) ou encore des travaux sur l'effet d'incubation (Howe et al., 2005).

Méthodologie – Une étude microgénétique est organisée, avec un design expérimental nouveau. Des étudiants travaillent en dyade sur la compréhension des effets de tremblements de terre, à l'aide d'un simulateur et de cubes. Le problème est vu ici comme une tâche ouverte où l'expérimentateur ne présuppose pas des réponses correctes. Une multitude de stratégies sont possibles pour construire des bâtiments. Pour tous les participants, deux phases collaboratives ont lieu. Chacune est précédée et suivie d'une phase individuelle de pré-/post-test. Les phases individuelles sont vues comme des étapes réflexives et les phases collectives comme des phases de re-élaboration. Durant les phases individuelles, les participants doivent construire un assemblage de cubes qui résiste au tremblement de terre, expliquer ensuite les défauts et qualités du montage, et finalement prédire la résistance de montages présentés par l'expérimentateur en indiquant les forces et faiblesses. Durant l'entraînement collaboratif, d'une durée de quinze minutes, ils doivent tester le plus possible d'assemblages pour construire des formes de plus en plus complexes. Ils sont évalués au niveau implicite (les règles utilisées pour construire le bâtiment) et au niveau explicite (les règles utilisées dans leurs explications). Les connaissances des participants sont étudiées en fonction des règles qu'ils utilisent telles que la symétrie ou le rapprochement des cubes.

Des changements cognitifs complexes – Du fait de la taille de l'échantillon, les résultats apportent plutôt des éléments de réflexion. La première phase collaborative est généralement exploratoire. Les participants tentent de nombreuses constructions et explications. Les règles utilisées implicitement dans les manipulations expérimentales changent régulièrement au cours des phases individuelles. A partir de la troisième phase individuelle, juste avant la deuxième phase collaborative, il y a moins de règles communes entre les partenaires. Concernant les explications données au cours des quatre phases individuelles, le nombre de règles utilisées

augmente régulièrement : les participants retirent des règles qu'ils employaient initialement, et les remplacent par davantage de règles qui sont de plus en plus citées. De ce fait, entre la première et la quatrième phase individuelle, les partenaires développent de plus en plus d'explications différentes (35% à 47% de différence). En conclusion, d'une phase collective à l'autre, les dyades enrichissent le répertoire explicatif collectif, et réduisent le nombre de règles utilisées pour résoudre le problème concrètement. Au contraire, d'une phase individuelle à l'autre, les individus diminuent le nombre de règles explicitement utilisées et augmentent le nombre de règles qu'ils utilisent implicitement dans leurs constructions. Durant ce cycle de situations individuelles et collectives, les individus utilisent donc de plus en plus d'explications en dyade, et de plus en plus de conceptions implicites dans leurs pratiques lorsqu'ils sont seuls. L'articulation de temps de travail individuel et collaboratif serait à l'origine de ce double enrichissement des individus. Chaque temps solitaire soutiendrait les performances dyadique et inversement, mais avec des conséquences différentes. Cependant, il s'agit ici d'une interprétation car l'absence de groupe ne permet pas de conclure cela de manière certaine.

3.4.6 – Les fonctions différenciées du travail individuel : l'étude de Van Boxtel, Van der Linden et Kanselaar (2000)

Un effet antérieur et un effet postérieur – Le moment auquel survient un travail individuel peut avoir une incidence sur le travail réalisé ensuite. Le premier effet que peut avoir un travail individuel sur un travail collectif ultérieur, est un effet préparatoire. Selon Carugati et Mugny (1985), une étape individuel pour établir chez l'enfant des prérequis cognitifs et sociaux est favorable à l'élaboration ensuite d'une étape de conflit socio-cognitif. Moshman et Geil, (1998) ont étudié comment des adultes résolvent en dyade la tâche de sélection de Wason (1964, 1966). Les performances des dyades sont meilleures que celles d'adultes isolés. Ce bénéfice provient d'un processus de confrontation, de persuasion ou de consensus. Un troisième groupe expérimental pratique une courte phase introductive de travail solitaire puis une phase de travail collectif. Les performances de ces dyades sont légèrement meilleures que celles des autres dyades. Selon les auteurs, un travail individuel puis collaboratif favorise le raisonnement logique conditionnel dans le travail en dyade. Inversement, est-ce qu'un temps de travail individuel après l'entraînement pourrait expliquer un meilleur profit du travail collaboratif ? L'idée d'un temps de consolidation des apprentissages a notamment été évoquée par Howe et al. (2005). A propos de la conception de la flottaison des objets, les auteurs ont remarqué qu'un certain temps était nécessaire suite au post-test individuel pour voir se développer davantage les conceptions des enfants. Les chercheurs en déduisent un effet d'incubation, courant dans les tâches créatives, qui indiquerait une restructuration individuelle des conceptions. Ce processus individuel permet d'intégrer l'expérience collective dans un après coup. Cependant leur étude ne démontre pas l'influence du post-test immédiat individuel sur les performances de post-test différé. Dans l'attente de futures recherches, seul l'effet préalable du travail individuel sur le travail collaboratif est étayé expérimentalement. Van Boxtel, Van der Linden et Kanselaar (2000) étudient l'influence des caractéristiques de la tâche sur les interactions collaboratives et les élaborations cognitives subséquentes. Cependant, ils démontrent et expliquent clairement l'intérêt d'un court travail solitaire préparatif au travail collaboratif.

Méthodologie – Dans cette expérimentation, des adolescents de 16 ans, issus de classes scientifiques, sont évalués en pré- et post-tests sur des problèmes de physique portant sur

l'électricité. Ils doivent appliquer des concepts, produire une explication avec les concepts adéquats, et enfin définir explicitement les concepts. Durant l'entraînement, ils travaillent en dyade. Deux tâches différentes sur les circuits électriques sont comparées, selon que les participants doivent élaborer une carte des concepts et négocier les significations et le sens des concepts (condition *concept map*), ou selon qu'ils doivent réaliser un poster qui mobilise des concepts pour expliquer un phénomène (condition *poster*). En outre, dans chaque condition, certaines dyades d'élèves commencent par un travail individuel de 5 minutes, bien que le temps total d'entraînement soit toujours de 45 minutes.

La préparation individuelle modifie les interactions dyadiques – Globalement, des progressions individuelles sont observées de pré- à post-test. Contrairement aux attentes des chercheurs, le type de tâche durant l'entraînement n'a pas d'incidence. En revanche, le fait de s'entraîner d'abord individuellement puis ensuite en dyade est davantage bénéfique que de s'entraîner seulement en dyade. Cette étape solitaire préalable est pourtant de courte durée. Cependant ce changement minime suffit à modifier la qualité des conceptions élaborées. C'est en particulier dans les types d'interactions nouées pendant l'entraînement que réside l'explication des progressions. Lorsque les participants bénéficient d'un temps solitaire préalable, les conflits de points de vue ne sont pas plus fréquents, mais les individus produisent davantage de questions entre eux. Le processus de questionnement et d'explicitation est renforcé. Un temps individuel de préparation, même temporellement limité, apporte aux élèves un soutien pour leurs interactions dyadiques ultérieures. Ceci permet de mieux élaborer et réguler socialement leurs incertitudes.

3.4.7 – Questions problématiques

Autonomie et interdépendance – L'enfant est continuellement situé dans des situations matérielles et sociales particulières mais ces situations changent (Lave & Wenger, 1990). Dans cette dernière thèse de l'articulation des situations individuelles et collectives, le changement de situation permet de décrire des dynamiques d'apprentissage différentes et l'émergence de pensées spécifiques. On s'interroge donc ici sur l'utilité de faire alterner les situations individuelles et collectives, ou du moins de les organiser de manière particulière au cours du temps. L'autonomie définit une certaine flexibilité du système cognitif individuel en fonction des variations contextuelles, qu'elles soient matérielles ou sociales. Des mécanismes psychologiques, intra- et interindividuels permettent l'évolution des individus en situation. C'est ainsi que l'habituation répond à la continuité d'une expérience, l'internalisation répond à la disparition de supports sémiotiques, l'analogie et le transfert permettent de mobiliser des connaissances pour des nouveaux problèmes. Il reste cependant à comprendre quels processus d'adaptation permettent à l'enfant de changer de configuration sociale de travail, en particulier lorsqu'ils doivent passer d'une situation collective à une situation individuelle et inversement. Les enseignants maîtrisent déjà implicitement cet aspect de l'environnement éducatif en régulant l'interdépendance des élèves entre eux durant les activités (Johnson & Johnson, 1985 ; Louisell & Descamps, 2001).

Résumé du chapitre 3

Les situations collaboratives favorisent généralement l'apprentissage de connaissances. La prise en compte des situations solitaires (ou individuelles) est rarement étudiée avec l'objectif de comprendre quelle activité particulière l'enfant met en place et quelles sont ses conséquences sur le développement de sa pensée.

L'enfant est considéré en situation individuelle lorsqu'il interagit le moins possible avec autrui pour réaliser une activité, bien qu'il puisse y avoir la présence d'un tuteur, parent ou enseignant, comme cela est courant dans le quotidien des enfants. Au cours du temps, ces situations peuvent s'articuler avec d'autres situations sociales.

La question est de savoir quelle cognition émerge en fonction des articulations de situations individuelles et collectives. Diverses recherches apportent des éléments de compréhension, souvent de manière isolée. Ces travaux pointent des effets positifs ou négatifs, sur le fonctionnement psychologique. Sur le plan cognitif, la situation individuelle pourrait favoriser des apprentissages bien que peu d'études aient étayé cette possibilité.

Trois thèses sont évoquées, qui pourraient indiquer un effet cognitif des situations individuelles sur les apprentissages des enfants, bien qu'elles ne soient pas exclusives :

- les situations individuelles permettent de contrebalancer les effets paradoxaux des situations collectives ;
- les situations individuelles favorisent un meilleur apprentissage que des situations collaboratives en fonction du niveau de développement de l'enfant par rapport à une tâche particulière ;
- les situations solitaires et collectives s'articulent de manière complémentaire, pour favoriser une dynamique créative, notamment du fait des fonctions quelles peuvent prendre l'une par rapport à l'autre.

La chronologie des situations est pour l'instant étudiée du fait de la répétition des tâches d'entraînement confiées aux enfants. La tâche confiée est la même, mais l'enfant doit la réaliser tout le temps seul, ou bien tout le temps en collaboration, ou encore en alternant les situations collaboratives et solitaires.

Tableau 5 – Récapitulatif des travaux cités dans le chapitre 3

	Référence	**Aspect central**	**Résultats principaux**
Thèse 1 - Parer aux effets négatifs de la collaboration	Tudge (1989)	La collaboration entre pairs favorise le changement conceptuel, positif ou négatif	Des progrès si l'enfant travaille avec un pair aussi ou plus compétent, sinon des régressions. Rôle important de la confiance.
	Levin & Druyan (1992)	Elaboration de conceptions de physique par le travail individuel ou collaboratif	Le travail collaboratif implique des changements conceptuels, ou renforce des conceptions naïves
	Puncochar & Fox (2004)	La justesse et la confiance dans les réponses collectives et individuelles	Le travail collaboratif favorise une confiance exagérée dans les réponses correctes et incorrectes
	Leman & Oldham (2005)	Courant « collaborative memory »	Travailler en individuel puis en collaboration favorise un meilleur rappel d'information
Thèse 2 – Choisir selon le niveau de développement et la tâche	Murphy & Messer (2000)	Lien entre niveau de développement et travail individuel ou collaboratif	A partir d'un niveau de compréhension implicite, les situations solitaires favorisent le développement cognitif
	Tudge & Winterhoff (1993) & Tudge, Winterhoff & Hogan (1996)	Le feedback matériel est exploité en fonction des contraintes sociales	En situation solitaire, le feedback matériel est davantage employé par l'enfant pour progresser
	Hugues & Greenhough (1995)	La complexité de la combinaison d'interactions verticales et horizontales	Les interactions horizontales et verticales ne s'ajoutent pas. En situation solitaire le feedback matériel a un rôle important
Thèse 3 – Favoriser une dynamique sociocognitive	Brodbeck & Greitemeyer (2000)	Réguler des effets cognitifs négatifs en s'habituant au travail individuel ou collaboratif	Les individus apprennent à interagir ou à travailler en individuel par la répétition de la situation d'entraînement.
	Azmitia & Crowley (2001)	La créativité scientifique et le cycle des situations individuelles et collaboratives	Progrès des explications en dyade et des performances implicites en individuel. De courts temps solitaires surviennent dans le travail collaboratif
	Van Boxtel, Van der Linden & Kanselaar (2000)	Rôle de la tâche conceptuelle et du temps de préparation individuel	Une première phase de travail individuel favorise davantage les progrès dus à la collaboration

CHAPITRE 4 – PROBLEMATIQUE

Des questions initiales – L'objectif initial de cette recherche était de déterminer quelles spécificités de la situation individuelle de travail pouvaient favoriser des apprentissages chez les enfants. Nos questions concernaient donc la comparaison des situations individuelles et collaboratives : Qu'est-ce que la situation solitaire apporte aux enfants pour penser ? Quelles performances sont favorisées par cette situation ? Quelles médiations peuvent-ils employer pour évoluer ?

La construction autonome de connaissances par les enfants – Un premier ancrage de la problématique se trouve dans l'approche constructiviste. Dans cette perspective, les connaissances changent parce qu'elles sont adaptées pour résoudre des problèmes que l'enfant ne pouvait pas résoudre auparavant à l'aide de ses fonctions cognitives précédentes. Cette perspective est particulièrement importante lorsqu'on cherche à comprendre les raisons du changement épistémique au niveau de l'individu comme au niveau des sciences. Le sujet est alors considéré comme un être actif qui peut être contredit et qui va ainsi résoudre des problèmes en s'adaptant pour pouvoir réussir ensuite. Le courant piagétien est ici une référence inévitable. Il montre notamment comment l'enfant établit ses propres catégories pour décrire et expliquer le monde matériel, et comment peu à peu il se décentre et élabore des concepts plus élaborés. Cependant l'approche piagétienne a été remise en cause du fait que de multiples voies de développement des conceptions physiques sont possibles pour expliquer comment l'enfant évolue. En l'occurrence la construction de ses concepts est tributaire de conceptions qui les mobilisent, mais également des contraintes situationnelles, telles que les objets rencontrés, la possibilité de comparer des points de vue différents, les questions de l'expérimentateur, l'interprétation de l'objectif de la tâche, ou encore les instruments à disposition. Les situations matérielles et sociales déterminent fortement les types d'élaborations cognitives des individus. Or l'enfant est en permanence inséré dans des situations matérielles et sociales spécifiques.

Les situations sociales et matérielles – L'approche socioconstructiviste, qui associe à la fois l'interactionnisme social et le constructivisme prend davantage en compte les situations dans lesquelles évolue l'enfant. Le milieu n'est plus considéré comme un environnement externe, qui limiterait ou faciliterait un développement psychologique de base, mais comme un élément qui participe directement et à tout moment aux réponses données par l'enfant. Dans une telle approche, la mesure de performances cognitive dépend de l'outil méthodologique et conceptuel qui le mesure. Dans cette perspective, nous nous interrogeons sur la différence entre certaines situations considérée comme solitaire, où l'enfant réalise des activités individuellement, et des situations collectives par ailleurs largement étudiées. Pour définir la spécificité des situations solitaires nous avons eu recours à trois axes d'analyse. L'individu se confronte tout d'abord à des objets qui renvoient des contradictions en fonctions des connaissances préalables de l'enfant. En situation solitaire l'enfant dispose donc de ses propres schèmes de pensée comme médiation à l'objet, mais également des feedbacks sont renvoyés par l'objet en fonction des actions de l'enfant sur cet objet, et de la capacité de l'enfant à les percevoir et les analyser, au besoin en changeant ses schèmes. L'enfant en situation solitaire ne partage pas son point de vue avec autrui.

En revanche, l'enfant d'âge scolaire a une pensée individuelle qui est déjà fortement socialisée. Du fait de processus culturels et notamment du langage, il dispose d'une perspective qu'il peut déjà confronter à d'autres perspectives même en étant seul. En effet, le langage intérieur, les activités d'argumentation, ou encore ses interprétations multiples de la situation sociale constituent déjà une source de divergence de points de vue sur l'objet. Enfin, l'enfant en situation solitaire est toujours situé dans un contexte culturel dans lequel il puise des médiations et notamment des instruments techniques qui lui permettent d'accéder à d'autres perspectives sur la réalité physique. Travailler seul ne constitue donc pas un isolement social, mais plutôt une situation sociale particulière. Caractérisée par l'absence de partenaire. Au contraire les enfants qui travaillent ensemble sont soutenus sur le plan des interactions sociales et de la confrontation de perspectives différentes. Cependant, on peut se demander si le fait d'interagir à plusieurs ne constitue pas en même temps une limite possible aux autres sources de contradictions disponibles que sont l'objet et l'outil. La focalisation sur la dimension interindividuelle pourrait en effet aider l'enfant à élaborer certaines structures ou certaines performances cognitives, par exemple des concepts partagés, mais peut-être cette élaboration empêche-t-elle l'enfant de confronter ses concepts à la description et à l'explication du monde physique, c'est-à-dire de relier des médiations conceptuelles co-élaborées avec ses médiations sensorielles ou avec une mise en pratique individuelle à travers des outils matériels.

De nouvelles questions – Les effets des situations collaboratives et solitaires de travail ont cependant été comparés depuis longtemps en particulier grâce au courant socio-cognitif des apprentissages. Les situations collaboratives semblent largement favoriser les apprentissages, mais sous certaines conditions et avec des effets parfois négatifs. Par exemple les enfants peuvent développer à tort une confiance dans leurs conceptions collective, qui constitue alors des obstacles à l'élaboration de nouveaux concepts. D'autre part, des auteurs indiquent une difficulté pour l'éducation de mettre en pratique des situations collaboratives stimulantes. Les situations individuelles constituent alors une solution à certains de ces problèmes. De ce fait, les questions que nous nous posons s'orientent davantage sur la prise en compte de la succession dans le temps des situations individuelles et collectives : Quand faire travailler seuls les enfants ? Est-ce que le travail individuel peut constituer un préalable pour le travail collectif et vice-versa ? La situation collaborative est-elle favorable dans un temps intermédiaire au travail individuel ? Les réponses cognitives élaborées en situation individuelle sont-elles favorables pour l'élaboration d'autres performances en situation collective, et vice versa ? L'alternance de situations solitaires et collaboratives peut-elle expliquer l'évolution de performances cognitives ?

Articuler les situations solitaires et collaboratives – Dans des activités créatives comme l'exploration et la construction de conceptions en physique, nous avons distingué trois perspectives qui permettent de suppose un rôle favorable des situations solitaires de travail et de l'articulation des situations solitaires et collectives de travail. Tout d'abord, chaque situation permet certaines activités mais implique aussi des contraintes ; alterner les situations solitaires et collectives pourrait donc permettre de limiter ces effets paradoxaux et de bénéficier de l'avantage de chaque situation. Ensuite, les situations collectives ou solitaires nécessite certaines compétences et connaissances au niveau individuel. De ce fait, ces situations sont plus ou moins appropriées en fonction du développement de l'enfant. Enfin, les situations solitaires et collectives soutiennent des processus cognitifs différents mais qui participent les uns aux autres. De ce fait l'alternance des situations individuelles et collectives pourrait créer une dynamique favorable au développement de certaines compétences au niveau individuel.

Hypothèses générales – Les hypothèses sont proposées pour comprendre comment l'enfant peut de manière autonome construire des connaissances dans un contexte relativement riche qu'il peut employer librement.

- La première hypothèse que nous avons formée est que l'alternance de situations solitaires et collectives est favorable à l'apprentissage par l'enfant des conceptions physiques.
- D'autre part, certaines recherches ont montré l'importance de l'ordre des situations ou de leur localisation spécifique dans le temps. Nous faisons donc l'hypothèse que certaines articulations particulières de temps individuels et collectifs vont permettre aux enfants d'apprendre alors que d'autres sont moins pertinentes. Cependant, l'absence de travaux sur la question et la complexité des situations empêchent de faire des prédictions précises. En se basant sur les expériences pré-/post-test classiques de la psychologie socio-cognitive ont peu supposer que travailler seul puis à deux puis seul est favorable aux apprentissages.

CHAPITRE 5 – METHODOLOGIE

Objectif – Penser sur un phénomène physique tel que la flottaison implique de nombreux processus cognitifs, qui varient en fonction de la tâche. Cette tâche peut être d'expliquer des faits particuliers, d'expliquer de manière générale et prédictive le phénomène, de décrire un univers physique à l'aide de concepts, d'expérimenter ou de démontrer la validité d'un modèle… Evaluer un niveau de conceptualisation de l'enfant n'est donc pas aisé, et nécessite de proposer à l'enfant une pluralité d'activités. Les travaux de Howe (1990 ; 2005) ont inspiré l'établissement de la méthodologie. Ils nous ont donné l'idée de proposer aux enfants des objets courants, concrètement donnés ou évoqués dans de courts récits, pour faire réaliser des prédictions et des justifications. Nous avons ajouté une tâche d'explication générale écrite. Cette triple activité (prédiction, justification et explication générale) permet de voir quelles performances particulières ou générales, ils sont capables de mettre en œuvre, et de voir s'il y a une certaine cohérence entre ces différents aspects de sa pensée.

Originalité principale de l'étude – Pour étudier l'implication de phases solitaires et collaboratives de travail chez les élèves, des aménagements ont été incorporés dans le déroulement des phases de l'expérimentation. Afin d'étudier l'organisation des temps solitaires et collaboratifs de travail de l'enfant, il s'agit de prendre en compte la manière dont les enfants mettent en œuvre des conduites de manière relativement autonome et active, pour réaliser des activités proposées. Après une étude pilote, il est apparu que pour étudier comment l'enfant exploite ces situations individuelles et collectives, la phase d'entraînement doit accorder un maximum d'autonomie. L'entraînement mis en place engage les enfants dans des activités relativement auto-organisées d'expérimentation et d'explication. Cet entraînement est original puisqu'il propose un contexte enrichi avec des outils, et une triple phase d'entraînement où les enfants peuvent construire une explication générale en s'appuyant librement sur ce contexte. Cette autonomie de l'activité permet d'étudier comment l'enfant régule son activité pratique et intellectuelle pour élaborer des connaissances scientifiques.

Annonce du plan du chapitre – Après avoir présenté l'étude pilote, nous présenterons les participants, le matériel, la procédure, les variables et le codage, et finalement les hypothèses de l'étude principale.

5.1 – Etude pilote et introduction à l'étude principale

Une étude pilote a été réalisée en janvier 2008, avec la participation d'une classe de CM2 d'une petite ville de Midi-Pyrénées (France). Cette étude a permis de dévoiler des contraintes imposées par la rotation des situations individuelles et collectives. Elle met également en lumière le besoin d'un contexte instrumental plus riche.

5.1.1 – Méthodologie de l'étude pilote

Participants – Vingt-et-un élèves issus d'une classe mixte CM1-CM2 ont été rencontrés dans une petite ville du sud de la France, dont 5 élèves de CM1 (Âge moyen = 9 ans 9 mois ; écart type = 0 ans 4 mois) et 16 élèves de CM2 (Âge moyen = 10 ans 11 mois ; écart type = 0 an 7 mois). Quatre conditions expérimentales ont été définies, selon que ces enfants s'entraînent : individuellement ; en dyade ; individuellement, puis en dyade puis individuellement ; ou encore en dyade, puis individuellement, puis en dyade.

Matériel de pré-test et post-test – Le matériel de pré-test et post-test comprend un livret de réponses individuel par élève et 6 objets concrets différents (ex. : une gomme, une éponge, une cuillère en fer, une bille de bois, un trombone). Ces six objets sont présentés matériellement et en plusieurs exemplaires pour permettre une prise en main par tous les élèves en classe. Six autres objets sont évoqués au cours de courtes histoires (ex. : des pommes de terre flottant dans une casserole d'eau, des navires et bateaux, etc…). Pour chaque objet, le livret prévoit un espace pour prédire par une case à cocher si l'objet *« flotte »* ou *« coule »*, ainsi que pour autoévaluer le degré de certitude que l'élève s'attribue à l'aide d'une échelle de Lickert à 5 points, allant de *« tout à fait sûr »* à *« pas sûr »*. Après les pages concernant les six objets concrets, et après les pages concernant les objets évoqués, des pages permettent d'écrire toutes les raisons qui expliquent les prédictions, puis d'estimer le degré de confiance dans les justifications données à l'aide d'une échelle de Lickert.

Matériel d'entraînement – Pour les trois étapes successives d'entraînement, le matériel comprend 9 nouveaux objets concrets, regroupés par trois (3 objets par étape), ainsi qu'un aquarium à moitié rempli d'eau. A chaque rencontre avec un groupe d'objets, chaque enfant dispose d'un stylo et d'une feuille de réponse, qui permettent de prédire ceux qui coulent ou flottent. Ils disposent également de fiches de couleurs différentes dont ils peuvent librement se servir comme brouillon ou pour noter des éléments individuels. Deux plateaux intitulés « flotte » et « coule » permettent de séparer les objets à chaque fin d'étape. Du matériel audio/vidéo permet d'enregistrer toutes les séquences.

Procédure de pré- et post-test – Les participants traversent une étape de pré-test, une étape de test un jour après, et finalement un post-test individuel un jour après la dernière passation d'entraînement. Le pré-test a lieu en classe, durant environ une demi-heure. L'expérimentateur rappelle aux enfants qu'il s'agit d'un exercice individuel, et vérifie que les enfants sont en condition suffisamment espacées pour travailler individuellement. Puis il répartit dans la classe les exemplaires du premier objet. L'expérimentateur montre un aquarium à moitié rempli d'eau et demande aux enfants : *« Réfléchissez bien pour savoir si selon vous cet objet flotte ou coule si on le met dans l'aquarium. Une fois que vous aurez décidé vous cocherez la case qui correspond à votre réponse »*. Puis les enfants indiquent à l'aide d'une échelle de Lickert, le degré de confiance qu'ils accordent dans leur prédiction. La même procédure est suivie pour tous les objets. L'ordre des objets est contrebalancé. Lorsque les six objets ont été présentés, l'expérimentateur demande de réfléchir individuellement : *« Maintenant vous allez réfléchir à toutes les raisons qui ont pu vous faire choisir ces réponses pour ces six objets. Vous les écrivez toutes sur la page de droite. La page de gauche peut vous servir de brouillon »*. Après environ 10 minutes, lorsque les enfants ont fini d'écrire, ils auto-évaluent la qualité de cette

production écrite et leur confiance dans leur réponse avec deux nouvelles échelles de Lickert. Puis l'adulte présente six nouveaux objets, mais évoqués, c'est-à-dire insérés dans de courts récits. La procédure est identique aux objets précédents : six prédictions et estimations, une explication finale et auto-évaluation. Un post-test a lieu le lendemain de la dernière passation d'entraînement, en suivant la procédure du pré-test. Le pré-test et le post-test diffèrent dans les objets confiés, mais deux objets, choisis aléatoirement sont communs au pré-test et au post-test.

Procédure d'entraînement – Les enfants ont été appariés en genre, et en fonction de leurs réponses en pré-test, afin d'avoir des dyades hétérogènes. Aléatoirement, ils sont répartis dans quatre conditions expérimentales selon qu'ils s'entraînent uniquement en dyade, uniquement en individuel, ou encore en alternant d'une manière ou d'une autre ces situations au cours des trois temps de l'entraînement. Ces quatre conditions sont appelées : DDD, DID, IDI et III (On désigne chacune des trois étapes d'entraînement par un D qui signifie « dyadique », ou un I pour « individuel »). L'entraînement se déroule dans une salle disponible de l'école, avec une dyade d'élèves à chaque fois. L'expérimentateur ne donne pas de réponse, ni de feedback, mais il reste disponible pour des questions concernant la procédure à suivre. Chaque passation dure environ une heure. Trois séquences d'entraînement sont prévues, mais les enfants ne sont pas informés de cela pour éviter tout effet d'anticipation (Augustinova, Oberlé & Stasser, 2005). L'expérimentateur montre une première boîte contenant trois objets. En fonction du groupe expérimental, si les enfants doivent travailler seuls à ce moment de l'entraînement, ils reçoivent chacun une feuille ; s'ils doivent collaborer, ils reçoivent une feuille commune. Les enfants peuvent manipuler les objets. La consigne est de prédire si chacun de ces objets flotte ou coule. S'ils travaillent ensemble, ils doivent parvenir à une réponse commune ; s'ils travaillent individuellement, ils ne doivent pas communiquer ou s'observer. Il leur est demandé d'estimer leur confiance individuelle dans la réponse choisie à chaque objet, comme en pré-test. Ils doivent ensuite vérifier en plaçant les objets dans l'eau et corriger leurs réponses. Puis ils classent les objets grâce aux plateaux « flotte » ou « coule ». Enfin, ils doivent écrire une explication générale indiquant toutes les raisons qui font que les objets flottent ou coulent. Durant cette étape, les objets qu'ils ont utilisés restent présents devant eux mais ils n'ont plus accès à l'aquarium. Environ dix minutes après, lorsque les enfants ont terminé, l'expérimentateur relève les feuilles puis procède de même avec une nouvelle boîte d'objets. Dans les dyades des conditions DID et IDI, il y a des changements de situations de travail : la situation collaborative est suivie d'une situation solitaire et inversement, selon les groupes expérimentaux.

Codage et hypothèse – Les réponses écrites des élèves sont codées en dénombrant les arguments produits, notamment l'argument de la matière de l'objet, de son contenu d'air, de son contenu d'eau, d'un autre contenu, de sa forme, de sa rigidité, de son positionnement dans l'eau ou d'un fonctionnement interne, de la taille, de la masse, de la quantité d'eau, de la résistance de l'eau, du rapport entre la masse de l'objet et la masse de l'eau, de la masse volumique de l'objet, et de la densité. Cette analyse des arguments employés a ensuite été recodée à l'aide des indicateurs et grille d'analyse de Howe et al. (2005). Il s'agit notamment de comptabiliser le nombre d'arguments différents cités dans les justifications (score FT) et le niveau conceptuel du meilleur argument fourni d'après la grille de codage (score CL). Cette grille d'analyse des arguments a été précisée plus tard pour l'étude principale (voir Tableau 6).

Tableau 6 – Grille d'évaluation de Howe et al. (2005) et correspondance avec les catégories d'arguments recueillis

Score	Description	Catégories d'arguments
0	Aucun facteur physique n'est cité (par exemple : « je ne sais pas », « il ne veut pas flotter », pas de réponse…	- 0 - Je ne sais pas - Constat
1	Facteurs physiques non-pertinents (matière, forme…) ou une propriété pertinente mais utilisée en sens contraire (par exemple les objets lourds flottent).	- Matière - Contenu d'air, contenu d'eau, autre contenu, - Position/fonctionnement, - Rigidité, - Forme, - Masse erronée, - Taille erronée
2	Une propriété physique pertinente de la densité est citée	- Masse - Taille - Quantité d'eau
3	Plusieurs variables pertinentes sont coordonnées	- Résistance de l'eau - Masse volumique - Masse de l'objet par rapport à l'eau
4	L'enfant compare la masse volumique de l'objet et celle de l'eau	- Densité

Hypothèses – Cette étude est exploratoire. Nous avons seulement fait l'hypothèse que les performances des conditions IDI et DID évolueraient positivement entre pré-test et post-test, et qu'elles évolueraient davantage que dans les conditions DDD et III.

5.1.2 – Résultats de l'étude pilote

Les résultats sont déconcertants – Les mêmes indicateurs que Howe et al. (2005) ont été utilisés pour décrire les explications produites. Ces chercheurs les utilisent pour décrire les douze justifications des prédictions de la flottaison d'objets particuliers, écrites successivement par les enfants. Dans l'étude pilote, nous avons codé de la même manière les deux explications, qui surviennent après les prédictions sur des objets concrets, puis après les prédictions sur des objets évoqués. Globalement, sur 16 élèves rencontrés, un t-test de mesures appariées n'indique pas de changement du nombre total d'arguments proposés de pré-test à post-test (score FT : *ns*). Un test du signe n'indique pas de progression significative du niveau conceptuel des enfants (score CL : *ns*). De manière générale, il y aurait plutôt une légère diminution du score CL, ce qui est plutôt surprenant après un entraînement qui a permis aux enfants d'observer la réaction réelle d'objets plongés dans l'eau, et pour certains d'interagir entre pairs. En revanche, les enfants appariés pour travailler régulièrement en dyade (condition DDD) pourraient développer davantage d'arguments en post-test, et des arguments atteignant un meilleur niveau conceptuel (voir Tableau 7).

Tableau 7 – Gain (et écart-type) du nombre d'arguments (FT) et de la qualité conceptuelle (CL) des justifications de pré- à post-test dans l'étude pilote.

Groupe	N	Gain FT		Gain CL	
		Moyenne	SD	Moyenne	SD
DDD	4	+2,50	(2,89)	+1,00	(2,71)
DID	4	-0,67	(2,31)	-0,33	(0,58)
IDI	5	-0,80	(3,11)	-1,40	(2,70)
III	3	-0,66	(2,08)	-0,33	(0,58)
Total	16	+0,06	(2,77)	-0,31	(2,09)

Notes. N = nombre de participants ; Gain FT = score de gain du nombre de facteurs cités en justification ; Gain CL = score de gain du niveau conceptuel du meilleur facteur cité en justifications ; SD = écart-type.

5.1.3 – Remarques finales

Des résultats déconcertants – Au regard de ces résultats et des entraînements filmés, les enfants en dyade semblent avoir une dynamique de travail plus importante. L'interaction soutient leurs pensées. Or, les travaux sur les apprentissages collaboratifs mettent souvent l'accent sur les interactions entre individus et sur le rôle du langage, pour la construction d'explications scientifiques. L'interaction verbale apparaît comme un moyen de construire des représentations ou des modèles mentaux de l'univers physique. Cependant, nous avons dit aussi que la pensée, depuis le plus jeune âge, comprend de multiples dimensions : Bruner (1966) a eu l'occasion de mettre l'accent sur l'action ou la perception en plus des compétences symboliques. Il est donc important, pour bien comprendre l'utilité d'un travail individuel à certains moments des apprentissages, de prendre en compte plusieurs compétences d'élaboration cognitive (interaction verbale, actions sur les objets, observation, écriture…) et de multiples conséquences cognitives possibles (explication générale, justification particulière de faits observés, prédiction, justification de prédiction…). Si pour l'enfant en collaboration, le partage de points de vue permet de réguler le travail cognitif, l'enfant en situation individuelle montrera peut-être des modes de régulation originaux, propres à sa situation, s'appuyant davantage sur d'autres compétences du travail scientifique : les prédictions, les justifications particulières, les conceptions présentées dans les explications générales, interactions verbales, structuration de l'explication, expérimentation…

Un contexte à enrichir – L'analyse des résultats de l'étude pilote et le visionnage des entraînements montrent que les enfants ont des difficultés à élaborer une explication. Plusieurs d'entre eux demandent notamment à faire des expérimentations. Ils recherchent dans le contexte instrumental un appui à leur conceptualisation. L'environnement proposé doit donc être relativement fourni, pour que de multiples activités permettent de mesurer diverses performances, mais aussi avec une certaine liberté pour voir l'enfant organiser lui-même son activité cognitive, avec la contrainte donnée de travailler ensemble ou individuellement. Le contexte instrumental de l'étude principale ainsi enrichi, permettra de mieux simuler le développement de la pensée scientifique. Selon nous, il s'agit aussi d'un moyen de renforcer le lien entre la cognition et les caractéristiques matérielles de la personne et de la situation : cette possibilité pratique et autorégulée permet de voir si l'enfant en situation solitaire, trouve dans l'environnement matériel un appui particulier pour élaborer sa pensée ou résoudre des problèmes spécifiques.

Ajustements méthodologiques – Ces résultats préliminaires inattendus sont à prendre avec précaution. Les participants sont peu nombreux, l'ordre des objets n'est pas contrebalancé car une

seule classe a été rencontrée. Des inconvénients pratiques ont amené des modifications méthodologiques pour l'étude principale. Par exemple, la consigne a été précisée car certains enfants ont produit des explications générales, tandis que d'autres ont justifié les divers objets rencontrés. Egalement, la disposition spatiale de l'environnement joue un rôle considérable. Lorsque les enfants s'entraînent individuellement, les séparer avec un obstacle crée une situation proche des conditions d'examen scolaire, et lorsqu'ils vérifient leurs prédictions autour de l'aquarium, ils peuvent interagir temporairement. Comme ces enfants s'entraînent parfois individuellement, mais en même temps, la solution sera donc de les installer dos-à-dos, dans le même champ de caméra, sur des tables équipées de manière symétrique. Enfin, nous choisissons pour l'étude principale de laisser les objets confiés à chaque étape de l'entraînement : ceci permet de voir si les enfants, après avoir construit une explication, prennent en compte les contradictions soulevées par de nouveaux objets.

5.2 – Participants

5.2.1 – Choix de la population

Une période de développement critique – Les notions physiques impliquées dans les théories physiques sur le phénomène de flottaison, évoluent avec l'entrée dans l'adolescence, notamment les notions de masse, de volume et de densité. On peut supposer qu'un entraînement adéquat avec des enfants de cet âge pourra les amener à des concepts formels : densité, masse volumique… (Brainerd & Allen, 1971 ; Howe et al., 2005). Ensuite, afin d'étudier comment les enfants écrivent des explications, travaillent en dyade et organisent une démarche de recherche, une bonne expérience du travail en équipe, ainsi que des compétences cognitives et scripturales suffisantes sont nécessaires. Notre choix s'est donc à nouveau porté sur des enfants de 10 ans, c'est-à-dire en fin d'école primaire, en CM2. L'étude pilote a confirmé l'intérêt de ces élèves dans la mise en place de processus cognitifs complexes et de pratiques scientifiques déjà en cours de développement. L'entraînement proposé devrait donc avoir des effets remarquables à cet âge.

5.2.2 – Choix des participants

L'échantillon – Nous avons rencontré 165 élèves de CM2, volontaires et non-redoublants. Les deux sexes sont représentés et les enfants sont tous âgés de 10 ans. Sept classes de CM2, issues de villes et de villages de Midi-Pyrénées, ont participé à cette étude. La mortalité expérimentale est importante du fait du nombre d'étapes de l'expérimentation, de la nécessité d'une présence répétées des élèves, du fait qu'ils travaillent en dyade alors que les classes peuvent contenir des effectifs impairs, et enfin de l'appariement en genre alors que les classes peuvent contenir un nombre impair de filles et de garçons. Pour cette étude, 106 participants ont été conservés, dont 64 filles et 42 garçons (Âge moyen = 10 ans 9 mois ; écart type = 4 mois). (pour un résumé des caractéristique des participants, voir Annexe A)

5.3 – Matériel

5.3.1 – Présentation des tâches utilisées

Types de compétences à évaluer et tâches requises – Généralement, on considère l'éducation aux sciences comme l'apprentissage de théories générales et de concepts. Il s'agit donc d'une approche très représentationnelle où les lois scientifiques constituent une norme à faire atteindre à l'enfant. Cependant, vu la relativité historique et sociale de ces connaissances, et leur évolution permanente, il faut accorder de l'importance non seulement à l'expression d'une explication scientifique, mais également à la compétence de l'enfant à résoudre des problèmes sur la tâche en question, et à ses compétences scientifiques (comme faire des expérimentations, faire des hypothèses, expliciter un raisonnement...). Les tâches retenues ont déjà en partie été étudiées avec des enfants de 10 ans (Howe et al., 1990, 2005 ; Piaget, 1927 ; Inhelder & Piaget, 1955 ; Tolmie et al., 1993).

Trois classes de compétences – On peut considérer trois classes de compétences, selon qu'elles sont orientées vers l'objet physique, vers autrui ou vers les outils. Parmi les compétences orientées vers l'objet, la prédiction est une compétence implicite qui permet d'étudier comment l'enfant appréhende non-verbalement l'environnement physique en distinguant des objets qui flottent et d'autres qui coulent. La justification des prédictions permet de savoir comment l'enfant peut utiliser certains concepts pour rationaliser ses prédictions. Cependant ici, il peut s'agir de mettre en place une théorie plus générale comme trouver des arguments spécifiques à un objet donné. La prédiction, préalable à la justification, permet de faire faire une pseudo-hypothèse à l'enfant, ce qui oriente ensuite sa justification vers l'affirmation d'un fonctionnement physique : l'objet devrait flotter (ou couler) pour certaines raisons. Parmi les compétences orientées vers autrui, nous ajoutons la production d'une explication écrite. Il s'agit d'utiliser des concepts pour faire part d'un état de connaissance. L'explication générale comprend donc des aspects conceptuels et des aspects démonstratifs qui sont très imbriqués. Il est important d'étudier comment l'enfant apprend à regrouper des concepts au sein d'une théorie mais aussi comment il en rend compte par une démonstration écrite. Enfin, nous ajoutons des compétences instrumentales qui sont essentiellement étudiées au cours de l'entraînement, et permettent de voir comment l'enfant organise des comportements épistémiques afin d'améliorer ses connaissances. L'intelligence technique, typique du travail des physiciens, est donc aussi évaluée chez l'enfant.

5.3.2 – Matériel de pré- et post-test

Tâches de pré- et post-test – En pré- et post-test, les enfants doivent produire des prédictions et justifications de ces prédictions à propos d'objets concrets puis d'objets évoqués, et finalement écrire une explication générale. La pluralité des objets concrets et évoqués rencontrés par les enfants permet d'établir un fondement pour analyser le raisonnement des enfants confrontés à des contraintes matérielles hétérogènes.

Objets concrets – Les objets concrets choisis sont des objets habituels, connus des enfants. Plutôt que de choisir des cubes ou cylindres dont on fait varier quelques paramètres seulement, ce

qui contraint largement la cognition de l'enfant, nous avons choisi des objets du quotidien très divers. Ceci implique que de nombreux paramètres peuvent varier d'un objet à l'autre, et l'enfant ne peut donc pas facilement supposer une attente de l'adulte dans les changements perçus. Au contraire, les objets habituels du quotidien obligent les enfants à une grande autonomie. Ceci permet également de penser l'expérimentation présente comme une simulation de la créativité scientifique et non comme un processus d'instruction fortement guidé par l'adulte. La liste des objets concrets est basée sur celle partiellement publiée par Howe et al. (2005) et Tolmie et al. (1993), Piaget (1927) et Inhelder et Piaget (1955). Cette liste de 27 objets communs a été composée pour permettre des prédictions des enfants : gomme, éponge, cuillère, morceau de bois, trombone, bille en verre, boîte en fer, flacon, bouteille pleine, vide ou à moitié pleine… (voir Annexe B). Ces objets sont équivalents en nombre concernant leur flottabilité. De plus nous avons fait en sorte d'avoir des objets de matière, de masse et de taille variées.

Objets évoqués – Une autre liste d'objets est prévue, cependant cette fois-ci il s'agit d'objets communs évoqués, inclus dans de courts récits de deux phrases (ex : « Il fait chaud aujourd'hui. Sarah met un glaçon dans son verre d'eau »). (voir Annexe C). Ces objets requièrent des prédictions et surtout des justifications comme les objets concrets. Cependant pour ces objets on ne peut pas évaluer la justesse des prédictions, ces objets étant imaginés.

Ordre des objets – Pour chaque classe d'élèves, 15 objets concrets et 15 objets évoqués sont tirés au hasard des deux listes d'objets et utilisés de manière aléatoire en pré- et post-test. Comme pour Howe et al. (2005), 33% d'entre eux sont présentés en post-test immédiat et différé. (voir Annexe D).

Le livret de réponse de pré-test et post-test – Un livret individuel de réponse a été composé pour le pré-test et le post-test (voir Annexe E). Douze espaces identiques sont prévus, un pour chaque objet avec plusieurs indications : un ligne permet d'écrire le nom de l'objet, la ligne suivante indique *« Que fait cet objet si on le met dans l'eau ? »* et est suivie de trois cases à cocher intitulées *« flotte »*, *« coule »*, *« je ne sais pas »* ; enfin trois lignes blanches sont prévues, indiquant *« Justifie ta réponse »*. A la fin du livret, se trouve une page blanche intitulée « Explication » : une consigne est indiquée en haut de cette page : *« Comment expliques-tu que certains objets plongés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »*. En base de page, deux questions sont écrites et suivies d'une échelle de Lickert en 5 points. A la question *« Comment trouves-tu tes réponses ? »*, on peut répondre *« Très bonnes »*, *« Bonnes »*, *« Moyennes »*, *« Peu bonnes »* ou *« Pas bonnes »*. A la seconde question, *« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »*, on peut répondre *« Très facile »*, *« Facile »*, *« Moyen »*, *« Difficile »* ou *« Très difficile »*. Une feuille colorée de brouillon est insérée à cet endroit du livret.

5.3.3 – Matériel de l'entraînement

Tâches de l'entraînement – L'entraînement est répété trois fois de manière successive. Les enfants doivent à chaque fois écrire trois prédictions, vérifier leurs prédictions, noter le phénomène observé pour chaque objet et finalement écrire une explication générale du phénomène de flottaison.

Prédiction, vérification et correction des prédictions – Pour chaque classe d'élèves, neuf objets sont tirés au hasard parmi les objets concrets restants. Pour chaque dyade, nous avons regroupé ces objets en trois ensembles de trois objets concrets, qui leur seront présentés successivement au cours des trois phases de l'entraînement. Dans chaque phase d'entraînement, les enfants sont donc confrontés à trois nouveaux objets concrets et on leur confie deux nouvelles feuilles de réponse (voir Annexe F). La première comprend des champs identiques pour chacun des trois objets, permettant :

- d'indiquer le nom de l'objet ;
- de répondre dans une colonne à gauche à la question *« Avant observation – Selon toi que fait cet objet si on le met dans l'eau ? »* en cochant la case *« il flotte »* ou *« il coule »* ;
- de répondre dans une colonne de droite à la question *« Après observation – En fait que fait cet objet mis dans l'eau ? »* en cochant une des cases *« il flotte »* ou *« il coule »* ;
- enfin une case à cocher est prévue en haut de chaque champ pour distinguer les prédictions correctes des prédictions erronées.

Un aquarium, des chiffons et des stylos sont également à disposition. Deux plateaux intitulés « flotte » et « coule », sont installés sur la table pour catégoriser les objets.

Explication générale – Pour la deuxième partie de chaque étape d'entraînement, les élèves reçoivent une nouvelle feuille de réponse intitulée *« Explication »*. La consigne écrite en dessous est : *« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »*. Le reste de la page est vierge. Sur la table d'entraînement on trouve également, en plus des objets précédents, une pile de feuilles colorées de brouillon, une balance électronique, une boule de pâte à modeler, un récipient gradué en plastique. Ces instruments matériels sont communément employés dans la littérature sur l'apprentissage du phénomène de flottaison. Ces instruments constituent des moyens d'étudier les compétences cognitives de l'enfant.

Disposition de la pièce – L'entraînement est réalisé dans une salle disponible de l'école, dans laquelle le matériel est installé pour accueillir tour à tour des dyades d'élèves hors de la classe (voir Figure 4). Deux tables sont installées de manière identique en symétrique avec les mêmes ustensiles, chaises dos-à-dos, dans un même champ d'enregistrement vidéo. Un coin de la pièce est prévu pour l'expérimentateur, de manière à rester disponible mais à distance et de ne pas intervenir dans les activités des enfants.

5.4 – Procédure

5.4.1 – Avant l'expérimentation

Présentation de l'expérimentateur – L'expérimentateur informe les institutions et les parents de la réalisation d'une étude universitaire à visée de recherche dans le domaine de l'éducation, et demande leur autorisation de faire participer les élèves. Lors de la première rencontre avec les élèves, avant le début du pré-test, il se présente en tant que chercheur, ce qui est l'occasion de questionner les enfants sur l'université et la psychologie. Il indique qu'il étudie

comment les enfants travaillent à l'école et comment les aider. Il donne alors l'exemple d'une étude qui viserait à comparer deux manuels de mathématiques et leurs implications éducatives. Enfin les enfants sont informés du caractère confidentiel des données, et du fait que ces activités ne donnent pas lieu à une évaluation académique, mais requiert qu'ils essaient de faire au mieux pour résoudre les questions posées.

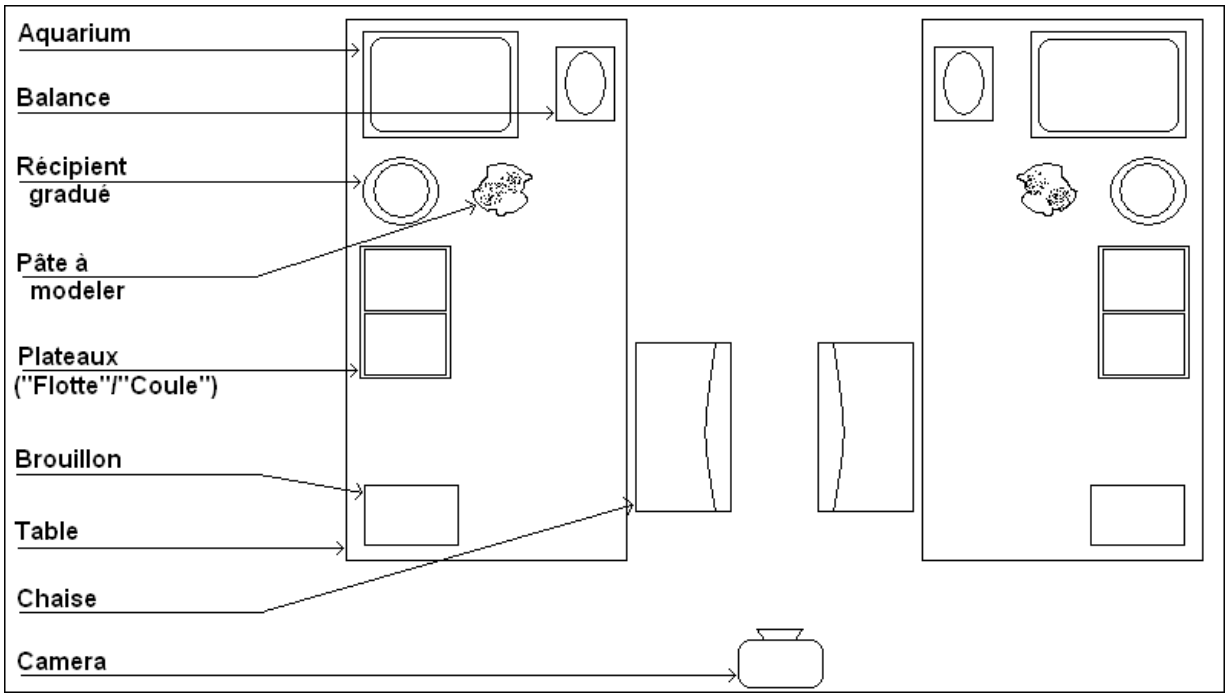


Figure 4 - Illustration du dispositif expérimental durant l'entraînement

Présentation de l'activité scientifique – Avant de commencer la passation, l'expérimentateur informe les enfants qu'ils vont travailler dans le domaine des sciences. Avec l'exemple de la germination des graines, il leur demande d'indiquer comment on fait des sciences. Cette étape préliminaire a pour but de s'assurer que tous les enfants ont eu un aperçu de la science en tant que pratique, et de les engager dans une activité de réflexion scientifique.

Le déroulement de l'expérimentation – Les participants ne sont pas informés à l'avance du déroulement des séquences. Ils traversent une étape de pré-test, une étape de test (environ 1 jour après), un post-test individuel immédiat à la suite du test (environ 1 jour après la dernière passation d'entraînement), et un post-test individuel différé (entre 3 et 6 semaines après le post-test immédiat).

5.4.2 – Procédure de pré- et post-test

Pré-test – Le pré-test a lieu en classe durant environ 40 minutes. L'expérimentateur donne un livret individuel de réponses à chaque enfant. Il rappelle qu'il s'agit d'un exercice individuel, à réaliser au stylo bille, sans effaceur/gomme mais avec possibilité de raturer, et vérifie que les enfants sont en condition de travail individuel.

Douze prédictions et justifications des prédictions – Il prend un premier objet et le montre à la classe. Puis il répartit dans la classe les divers exemplaires de ce premier objet concret que les enfants se font passer. L'expérimentateur montre un aquarium à moitié rempli d'eau et demande : *« Sur votre livret vous pouvez marquer le nom de ce premier objet. Réfléchissez bien pour savoir si selon vous cet objet flotte ou coule si on le met dans l'aquarium. Une fois que vous aurez réfléchi, vous cocherez la case qui correspond à votre réponse : il flotte, ou il coule »*. Quelques secondes après que tout le monde a répondu, il demande : *« Maintenant vous allez réfléchir à toutes les raisons qui expliquent que cet objet flotte ou coule. Vous avez un espace pour écrire ces explications »*. Lorsque tous les élèves ont répondu (environ une à deux minutes), l'expérimentateur présente l'objet concret suivant selon la même procédure. Suite aux six objets concrets, la procédure est identique pour les six objets évoqués.

Une explication générale finale – Lorsque les douze objets, concrets et évoqués, ont été présentés, l'expérimentateur demande de réfléchir individuellement : *« Maintenant vous allez réfléchir pour trouver une explication générale, c'est-à-dire trouver une explication qui permette de dire pour tous les objets possibles si ils coulent ou flottent et pourquoi. Il est important d'argumenter : ça veut dire que vous devez bien expliquer qu'est-ce qui fait que ça flotte ou que ça coule et comment vous prouvez et montrez que votre explication convient. La page de gauche peut vous servir de brouillon si vous le désirez »*. Après environ 10 minutes, lorsque les élèves ont terminé, l'expérimentateur lit la question en bas de page: *« Comment trouves-tu ces explications ? Vous pouvez répondre : très bonnes, bonnes, moyennes, peu bonnes, pas bonnes »*. Puis : *« on vous demande enfin si vous avez trouvé cet exercice d'explication générale difficile ou facile. Vous pouvez donc répondre : très facile, facile, moyen, difficile, très difficile »*.

Post-tests – Les post-tests suivent la même procédure que le pré-test. Le post-test immédiat a lieu une demi-journée après la dernière passation d'entraînement. Le post-test différé a lieu en moyenne 4 semaines plus tard environ, en fonction du calendrier scolaire.

5.4.3 – Procédure de composition des groupes de participants

Composition des groupes expérimentaux – Les réponses du pré-test permettent de composer des conditions expérimentales et des dyades à l'intérieur de ces conditions. Après consultation des enseignants, les enfants redoublants ou ayant des difficultés scolaires sévères sont retirés de l'expérience. Pour assurer la comparabilité des groupes expérimentaux au niveau cognitif et au niveau du genre, la procédure de composition des groupes est effectuée de manière identique pour les filles, puis les garçons. Dans chaque classe, ces élèves sont classés en niveaux en fonction du score conceptuel le plus haut, atteint pour les justifications de prédictions du pré-test (score CL évalué avec l'échelle de Howe et al., 2005, voir 5.1 et Tableau 6). Les élèves de chaque niveau sont répartis aléatoirement dans quatre groupes expérimentaux comparables.

Constitution de groupes expérimentaux et des dyades d'apprenants – Dans chacun des quatre groupes expérimentaux, les enfants sont appariés en dyades de même genre. Des dyades sont utilisées plutôt que des groupes car ces derniers favorisent des processus tels que des phénomènes d'influence sociale. De plus, la dyade est parfois considérée comme l'unité d'analyse la plus heuristique pour révéler un saut qualitatif des processus cognitifs (Gilly, 2001).

Les dyades sont composées d'enfants de niveaux différents, afin de maximiser les divergences de points de vue initiaux et de maintenir l'intérêt des participants malgré la répétition des tâches proposées. De plus, un maximum de différences argumentatives entre les partenaires est assuré, en vérifiant qu'ils donnent des justifications les plus différentes possibles à chaque objet prédit en pré-test. On calcule donc pour chaque dyade à chaque justification de prédiction le nombre d'arguments communs (S) et différents (D) ; la somme de ces valeurs permet l'attribution à chaque dyade d'un *coefficient de différence dyadique* (CD) tel que : $CD = \sum_D / \sum_{(D+S)} \times 100$ (Howe et al., 2005). En cas de trop forte similitude dans un binôme (CD inférieur à 0,5), on reprend la procédure de répartition aléatoire, jusqu'à parvenir à des dyades hétérogènes (voir Tableau 8).

Tableau 8 – Composition des groupes expérimentaux

Groupe	Âge moyen	Coeff. de différence dyadique moyen en pré-test (CD)	Nombre de filles/garçons	Nombre
DDD	10;10	79%	16 / 12	28
DID	10;10	80%	16 / 10	26
IDI	10;11	78%	16 / 10	26
III	10;9	78%	16 / 10	26

Affectation des groupes expérimentaux – Un groupe contrôle effectue les activités uniquement en individuel (groupe III) et un groupe contrôle s'entraîne systématiquement en dyade (groupe DDD). Ces groupes contrôles ne réalisent donc pas de changement de situation durant l'étape d'entraînement. Un troisième groupe réalise deux reprises individuelles de la tâche séparées par une étape dyadique (groupe IDI). Il y a donc deux changements de situation sociale depuis le pré-test jusqu'aux post-tests ; l'apprentissage est orienté vers des réalisations plutôt individuelles de l'activité. Enfin le quatrième groupe réalise deux reprises collectives de la tâche séparées par une étape individuelle (groupe DID) ce qui occasionne du pré-test au post-test final quatre changements de situation sociale et un entraînement souvent collectif (voir Figure 5).

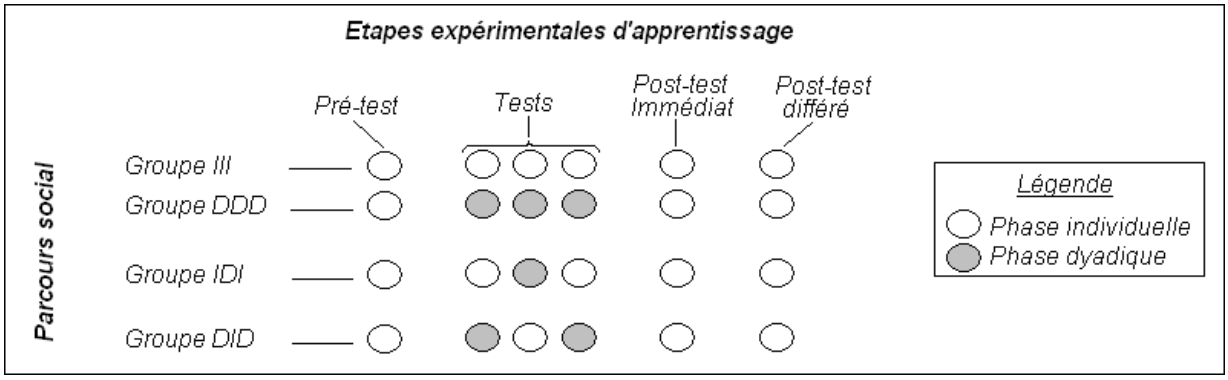


Figure 5 – Groupes expérimentaux en fonction des temps d'entraînement solitaires/dyadiques

5.4.4 – Procédure de l'entraînement

Généralité – L'expérimentateur ne donne ni réponse, ni feedback mais reste disponible concernant la procédure à suivre. La passation des étapes d'entraînement commence une demi-journée à un jour après le pré-test et se déroule dans une salle hors de la classe. L'ensemble des passations d'une classe s'effectue en 2 à 3 jours. Chaque passation dure environ une heure. Les

élèves se présentent en dyade. Selon le groupe expérimental, lorsqu'ils travaillent ensemble (groupes DDD, DID et IDI), ils sont installés côte à côte et doivent parvenir à une réponse commune en se mettant d'accord ; lorsqu'ils travaillent individuellement (groupes III, DID et IDI), ils sont installés dos-à-dos sur des tables identiques et ne doivent ni communiquer, ni s'observer. Dans les groupes IDI et DID où des changements sont prévus les élèves se séparent ou se regroupent au cours des trois étapes. L'expérimentateur confie à chacun un stylo de couleur différente et montre une pile de feuilles de brouillon colorées en les informant qu'ils peuvent s'en servir s'ils en ont besoin. En fonction du groupe expérimental, si les enfants doivent travailler seuls, ils reçoivent chacun une feuille de prédiction ; s'ils doivent collaborer, ils reçoivent une feuille commune.

Déroulement – L'entraînement est repris trois fois, avec à chaque fois un temps de prédiction-observation et un temps de recherche d'explication. A chaque fois, un nouveau set de trois objets est proposé. Les apprenants doivent *prédire* la flottabilité des trois objets successivement. Ils peuvent les manipuler mais pas les placer dans l'aquarium. Lorsque les trois objets ont été prédits, les enfants peuvent les plonger dans l'aquarium pour observer leur réaction effective ce qui permet de *vérifier les prédictions*. En fonction de leurs observations, ils catégorisent ensuite les objets sur les deux plateaux *« flotte »* ou *« coule »*. Enfin ils doivent noter sur la feuille de prédiction ce qu'ils ont observé et indiquer d'une croix les objets qu'ils ont prédit correctement. L'expérimentateur relève les feuilles de prédiction et donne une nouvelle feuille d'explication générale. Il est demandé comme pour les pré- et post-tests de produire *une explication générale* de la flottaison des objets. On précise qu'il s'agit de faire une explication *« qui fonctionne pour tous les objets possibles de la vie »* et qu'il s'agit d'argumenter c'est-à-dire *« d'expliquer le plus possible comment on prouve cela »*. L'expérimentateur présente à nouveau les objets disposés sur la table et dit aux élèves qu'ils sont *« libres d'utiliser tout ce qui est sur la table pour construire cette explication »*. Les enfants ont 10 minutes pour réaliser leur explication. L'expérimentateur reste à distance et disponible (ex : fonctionnement de la balance électronique, rappel du temps restant…). Ce déroulement des activités de prédiction-observation et explication est identique sur les trois étapes. Seul le groupe d'objets donnés change. Les objets déjà confiés restent disponibles jusqu'à la fin de l'entraînement. Les élèves ne sont jamais informés de la chronologie des activités individuelles et collaboratives qui suivent, sachant que des effets d'anticipation ont été mis en évidence (Augustinova et al., 2005) (voir Figure 6).

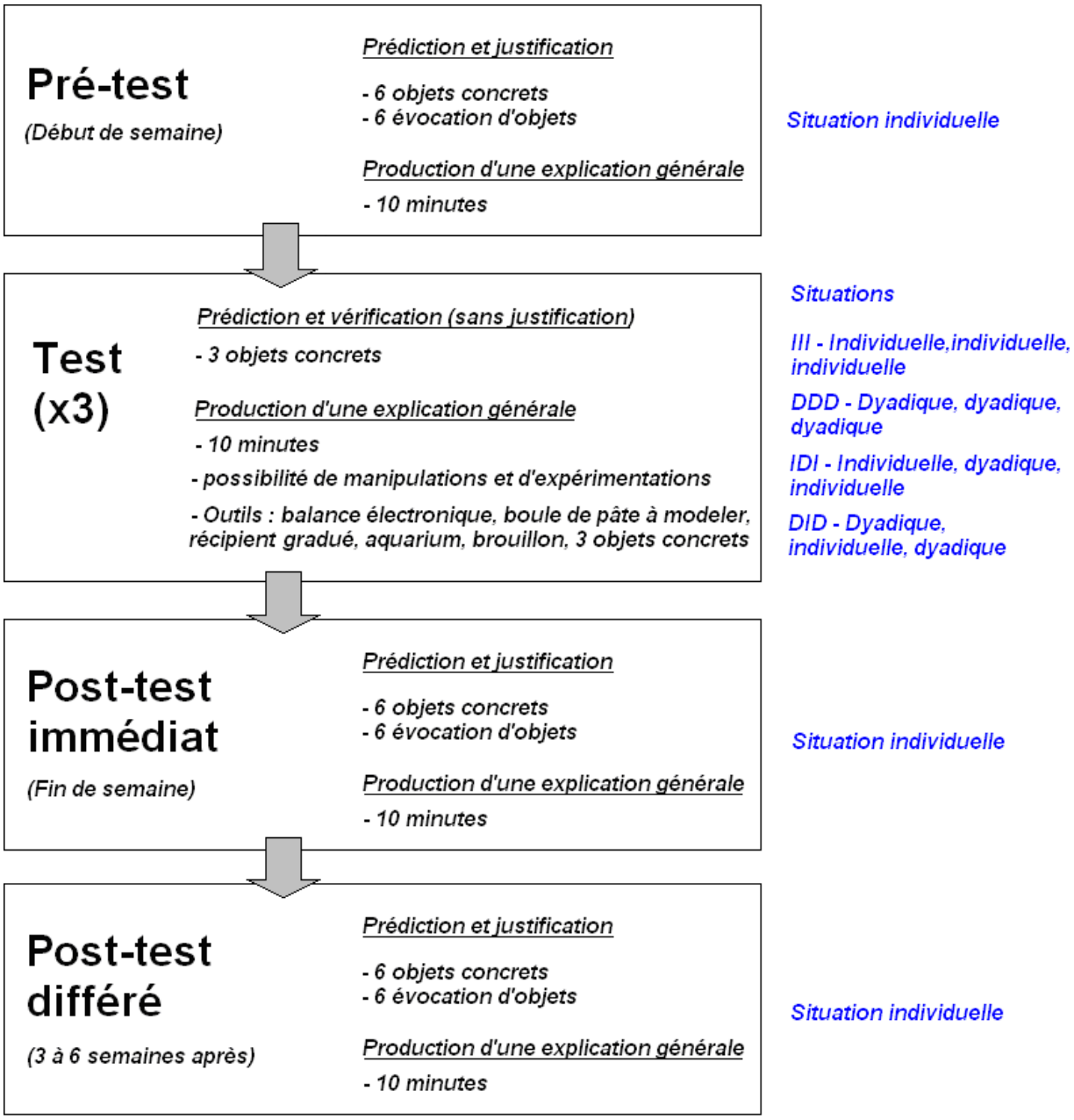


Figure 6 – Chronologie des activités requises en pré- et post-test et durant l'entraînement

5.4.5 – Fin de l'expérimentation

Après le post-test différé – Une fois le post-test différé terminé, les feuilles des élèves recueillies, l'expérimentateur discute avec les enfants à propos de deux types d'expériences. Tout d'abord concernant la flottaison des objets, il leur propose une discussion en grande classe, qui sera poursuivie plus tard avec l'enseignant dans un cadre scolaire. D'autre part, il fait part des conditions expérimentales de l'étude. Il invite alors les enfants à raconter le déroulement de leurs entraînements, et finalement à trouver brièvement l'objet d'étude à travers la méthodologie.

5.5 – Variables, codage

Retour à la situation de l'élève en classe de sciences – Le plan de l'étude proposée est un plan mixte, c'est-à-dire un plan avec des temps répétés et des conditions expérimentales différentes. Les variables, indépendantes et dépendantes de l'étude ainsi qu'un premier système de codage des réponses a été mis en place. Nous présentons ces éléments, inspirés des travaux de Howe et al. (2005), puis une nouvelle grille d'évaluation des réponses conceptuelles des enfants est présentée.

5.5.1 – Les variables indépendantes et variables dépendantes

Variable indépendante – La succession des situations sociales d'entraînement constitue la variable indépendante principale de l'étude. Ses quatre modalités permettent d'envisager des combinaisons sociales des phases d'entraînement selon que les enfants travaillent toujours seuls (condition III), toujours en dyade (DDD), en dyade puis individuellement puis en dyade (DID), ou encore individuellement puis en dyade puis individuellement (IDI). Il s'agit de la variable interindividuelle du plan mixte.

Variables dépendantes – Les variables dépendantes étudiées concernent trois types de compétences en pré- et post-test (voir Tableau 9) : la capacité de l'enfant à prédire la flottaison des objets concrets présentés, sa compétence à justifier ses prédictions, et sa compétence à donner une explication générale du phénomène de flottaison.

Tableau 9 – Récapitulatif des variables dépendantes de l'étude

Type de production	Indicateur	Description
Prédictions	PR	Nombre de prédictions correctes
Justifications	FT	Nombre de facteurs évoqués sur l'ensemble des justifications
	CL	Somme du niveau conceptuel du meilleur argument de chaque justification
Explications générales	FT_{exp}	Nombre de facteurs évoqués dans l'explication
	Niv_{exp}	Niveau conceptuel du meilleur argument de chaque justification

5.5.2 – Le codage des prédictions (score PR)

Une compétence implicite – La justesse des prédictions de l'enfant peut être estimée en fonction de la réaction effective des objets. De ce fait, seules les prédictions des enfants sur les objets concrets, dont on peut vérifier s'ils flottent ou coulent, permettent de composer le score PR. Ce score indique le nombre de prédictions correctes sur six consécutives en pré- ou post-test, et sur trois durant les phases d'entraînement (voir Annexe G pour les données).

Un codage intrajuge – Les prédictions des enfants, ont été codées par deux fois par un même juge, en intégralité. La comparaison indique un codage très fiable : sur les 1908 prédictions de pré- et post-tests, plus de 99% des prédictions ont été codées de la même manière.

5.5.3 – Codage des justifications et des explications générales

Les étapes du codage – Afin d'évaluer les justifications, mais également les explications générales des enfants, les réponses sont codées en deux étapes, décrites en détail ci-dessous. La première étape consiste à identifier les arguments utilisés par l'enfant ; la seconde consiste à attribuer un score conceptuel à chacun d'eux. Les justifications et explications écrites sont évaluées dans leur dimension conceptuelle à l'aide d'indicateurs issus de la méthodologie de Howe et al. (2005), auxquels nous ajoutons un indicateur de niveau de développement.

L'indicateur « FT » (factor total) – Cet indicateur, repris de Howe et al. (2005), comptabilise le nombre d'arguments produit sur l'ensemble des justifications. Ce score indique donc si l'enfant produit une certaine quantité d'arguments pour présenter ses conceptions. Par exemple : la justification *« l'objet coule car il est lourd et gros »* comprend deux arguments et apporte donc un score FT = 2 (voir Annexe H pour les données).

L'indicateur « CL » (conceptual level) – Cet indicateur indique le meilleur niveau conceptuel atteint par les facteurs utilisés par l'enfant, d'après l'échelle évaluative. Pour les justifications, on ajoute le score du meilleur argument de chacune des douze justifications. Par exemple : la justification *« l'objet coule car il est lourd et gros »* comprend deux arguments, la masse évaluée à 3 et la taille appliquée de manière erronée évaluée à 2 et apporte donc un score CL = 3. (Nous n'utilisons pas de score équivalent avec les explications générales, mais utilisons le niveau de développement avec lequel il se confond) (voir Annexe H pour les données).

L'indicateur « niveau modal » des justifications – Ce score donne une lecture plus fine du score CL attribué à l'enfant. En effet, les justifications comprennent douze items en pré-test ou en post-test. L'hétérogénéité des justifications oblige à adopter une méthode fine qu'une simple moyenne pour décrire un niveau de développement des justifications de l'enfant. Nous utilisons le *« niveau modal »* (repris de Howe et al., 1990). Une fois la qualité de chaque justification évaluée à l'aide de l'échelle conceptuelle, on compte combien de justifications atteignent chacun des degrés de l'échelle. Le niveau modal de l'enfant correspond au niveau le plus fréquemment atteint dans les justifications ; si ce score n'est pas deux fois supérieur aux niveaux adjacents, l'enfant est alors classé à un niveau intermédiaire. Par exemple, un enfant qui développe six justifications de score CL = 3, et quatre justifications de score CL = 2, et deux justifications de score CL = 1, obtient un niveau modal intermédiaire 2,5, c'est-à-dire entre 2 et 3 (intermédiaire entre les niveaux IIA et IIB sur l'échelle présentée ensuite) (voir Annexe H pour les données).

L'indicateur « FT_{exp} » – A l'instar du score FT, le score FT_{exp} comptabilise le nombre d'arguments différents produit dans les explications générales de pré-test et de post-test, mais aussi durant l'entraînement (voir Annexe I pour les données).

L'indicateur « Niv_{exp} » des explications – Le niveau conceptuel des explications générales est évalué directement à partir du score atteint par le meilleur argument sur l'échelle d'évaluation (voir Annexe I pour les données).

5.5.4 – Première étape : décrire les justifications et explications en arguments

Les arguments des enfants – Les justifications et explications écrites sont évaluées dans leur dimension conceptuelle en analysant les concepts auxquels il est fait référence. On distingue alors les arguments écrits pour les 3816 justifications recueillies en pré- et post-test, pour les 318 explications générales de pré- et post-tests, et pour les 237 explications générales produites durant l'entraînement. Cette analyse brute donne un indicateur, mais est insuffisante, pour déterminer la conception de l'enfant, qui nécessiterait un entretien approfondi et des mises en situations complexes. D'une part, une justification ou une explication peuvent contenir un ou plusieurs arguments, ce qui complique les analyses. D'autre part, un même facteur peut être cité pour des conceptions différentes, ce qui nécessite d'être précautionneux dans les interprétations données ensuite. Du fait de cette complexité, deux grilles d'analyses différentes, basées sur ces arguments sont présentées dans les sections suivantes. Enfin certains assemblages typiques d'arguments seront étudiés pour affiner la compréhension des conceptions des enfants.

Classes et catégories d'arguments – Afin d'analyser les conceptions des justifications et explications des enfants, on analyse pour chaque justification et chaque explication générale les concepts ou arguments employés pour décrire les raisons physiques du phénomène. Dix-neuf catégories d'arguments ont ainsi été définies d'abord à partir de la méthodologie de Howe et al. (2005) et empiriquement par l'analyse des réponses des participants. A posteriori, nous avons constaté que ces catégories correspondent quasiment exactement avec celles que cite Howe (1998, p.147-149) lorsqu'elle reprend en détail les arguments répertoriés dans son étude initiale (Howe et al., 1990). Nous avons simplement regroupé les types d'arguments les plus rares selon qu'il y a une possibilité de confusion entre ces catégories, du fait de l'imprécision des formules de l'enfant et de la capacité d'interprétation extérieure de l'adulte.

Une classe de réponses sans argument – Une première série de réponses indique une production qui n'est pas argumenté par un concept physique. Ainsi l'enfant peut :

- laisser le champ vide (catégorie « 0 ») ;
- faire un constat d'ignorance (catégorie « Ne sais pas ») : par exemple, il écrit « *Je ne sais pas comment expliquer* ».
- décrire le phénomène sans donner de raison matérielle (catégorie « constat ») : par exemple, il écrit *« l'objet reste à la surface de l'eau »*.

Une classe d'arguments matériels qualitatifs – Dans une deuxième série d'arguments possibles, l'enfant peut appuyer son explication ou sa justification sur des arguments non mesurables, c'est-à-dire purement qualitatifs, bien qu'ils correspondent à des concepts physiques. L'enfant peut indiquer le rôle de:

- la rigidité de l'objet (catégorie « rigidité ») : par exemple, il écrit *« l'objet est mou »*.
- la forme de l'objet (catégorie « forme ») : par exemple, il écrit *« l'objet est fin »* ou *« l'objet est rond »*.
- la résistance de l'eau (catégorie « résistance ») : par exemple, il écrit *« l'eau a assez de force pour le porter »*.
- Finalement, une dernière catégorie de facteurs (catégorie « position/fonctionnement ») regroupe des arguments peu fréquents, soit en termes de position de l'objet par rapport à l'eau, soit en termes de mécanisme interne à l'objet. Par exemple, l'enfant écrit *« il faut*

poser l'objet légèrement sur l'eau », ou encore *« il faut le poser horizontalement »* ou bien *« l'objet flotte car il est froid »* ou encore *« l'objet fait des bulles qui le portent »*.

Les catégories suivantes ont un statut particulier puisque selon les auteurs, elles peuvent indiquer une conception erronée (Howe et al., 2005) ou bien une préconception évoluée de la densité (Piaget & Inhelder, 1941) : il s'agit du contenu de l'objet et de la matière de l'objet. Il peut donc indiquer le rôle de :

- de la matière de l'objet (catégorie « matière »). Par exemple, il écrit *« c'est un objet en bois et donc il flotte »*.
- du contenu de l'objet. Cet ensemble d'argument est divisé en trois catégories selon le contenu supposé dans l'objet (catégorie « contenu d'air », « contenu d'eau », « autre contenu de l'objet ». Par exemple, il écrit *« l'objet a de l'air à l'intérieur ce qui le fait flotter »*, ou bien *« l'objet se remplit d'eau ce qui le fait couler »* ou encore *« l'objet est plein, il y a une mine à l'intérieur »*.

Une classe d'arguments matériels quantitatifs (intensif ou extensif) – Il s'agit de facteurs physiques mesurables, bien que l'enfant peut les utiliser de manière intensive, en faisant par exemple des comparaisons ou en décrivant l'objet par une modalité de ces facteurs. L'enfant peut ainsi indiquer le rôle de :

- la masse de l'objet. A la manière de Howe et al. (2005), l'argument de la masse de l'objet est décliné en deux versions. L'enfant peut indiquer que l'objet a plus de chance de flotter s'il est léger et de couler s'il est lourd (catégorie « masse correcte »), ou au contraire qu'il a plus de chance de flotter s'il est lourd (catégorie « masse erronée »). Par exemple, l'enfant écrit que *« les objets flottent quand ils sont légers »*. L'argument « masse erronée » est typique d'un raisonnement précoce erroné, l'enfant supposant que les objets lourds ont plus de force pour se hisser à la surface de l'eau. Cet argument étant très rare autour de 10 ans, en l'absence de précision ou d'indice dans la prédiction s'il s'agit d'une justification, on supposera que l'argument est donné de manière correcte.
- la taille ou le volume de l'objet. A la manière de Howe et a. (2005), on distingue également si la taille est citée de manière proportionnelle au poids, un objet gros étant supposé couler et un petit flotter (catégorie « taille erronée ») ou si la taille de l'objet est évoquée de manière inversement proportionnelle au poids, c'est-à-dire qu'un objet est dit flottant du fait qu'il est gros, ou non-flottant du fait qu'il est petit (catégorie « taille correcte »). Par exemple, l'enfant écrit *« l'objet est gros »* ou encore *« il flotte car il est long »*. Lorsqu'il ne précise pas le sens de la relation entre la taille et la réaction de l'objet, on s'appuiera sur la prédiction faite. Enfin, si aucun indice ne permet de trancher, on suppose que cet argument est cité au sens erroné. La plupart des enfants et des adultes considèrent généralement que la masse et le volume de l'objet sont corrélés, alors que la théorie physique de la densité indiquerait qu'un objet a d'autant plus de chance de flotter que le volume augmente.
- la quantité d'eau présente (catégorie « Quantité eau »). Par exemple, il indique *« il n'y a pas assez d'eau pour faire flotter l'objet »*. En général, ces arguments ne précisent pas s'il s'agit de la quantité d'eau totale du bac ou d'un volume égale à l'objet. Certains enfants précisent qu'il s'agit de la quantité d'eau totale.

Une classe d'arguments quantitatifs relativisés et proches de la notion de densité – Enfin certains arguments sont particulièrement attendus de l'élève à l'entrée de l'adolescence

concernant le phénomène de flottaison. Il s'agit d'arguments quantitatifs rationalisés pour penser la densité. Ainsi l'enfant peut indiquer le rôle de :

- la masse volumique de l'objet. Il indique que l'objet a une masse qui, du fait d'un certain volume, explique que l'objet flotte ou coule (catégorie « masse volumique »). Cet argument est extrêmement rare.
- un rapport de masse entre l'objet et l'eau. L'enfant compare la masse de l'objet et la masse de l'eau. En général, l'enfant compare sans indiquer quel volume d'eau il choisit. Bien souvent, il apparaît généralement qu'il compare la masse de l'objet à la masse totale du liquide rencontré, d'après les objets désignés ou les prédictions faites.
- faire référence à la densité de l'objet, de manière réduite en disant que les objets condensés coulent ou flottent, ou bien en indiquant la formule de la densité. Cependant cette dernière catégorie d'argument est totalement absente des réponses recueillies.

Un codage interjuge – Un codage interjuge a été réalisé sur un échantillon de 228 justifications choisies aléatoirement (soit un peu plus de 5% des justifications) et décrites avec les classes d'arguments citées : un indice kappa de 92,3% indique un bon taux d'accord interjuge (voir Annexes J).

5.5.5 – Deuxième étape : l'évaluation des conceptions

Analyse des conceptions – Pour évaluer la qualité conceptuelle des réponses, nous avons d'abord utilisé une échelle reprise de Howe et al. (2005). L'outil a posé des difficultés et paraissait mal approprié, aussi avons-nous changé d'échelle. Une échelle d'évaluation a été construite spécifiquement pour cette étude. Le processus de construction de cet outil d'évaluation et ses conséquences pratiques et théoriques est détaillé dans le chapitre suivant (voir chapitre 6). La qualité conceptuelle des justifications et des explications écrites est finalement évaluée à partir des travaux de Piaget (1927), Piaget et Inhelder (1941), Inhelder et Piaget (1955) et Laurendeau et Pinard (1962). Cette grille vise à étudier le développement des conceptions sur la flottaison des objets en fonction de l'âge de l'enfant. Elle rend à la fois compte du type de causalité avec lequel l'enfant aborde l'univers matériel (un passage du vitalisme au dynamisme puis au physicalisme), et de l'utilisation du raisonnement causal (avec des opérations concrètes puis formelles pour décrire le monde).

Une grille à ajuster – A chaque étape, l'enfant peut utiliser les arguments qu'il utilisait dans des périodes antérieures de son développement, mais cette fois-ci avec un sens nouveau. En effet, certains arguments réapparaissent à partir d'un certain moment mais avec l'idée sous-jacente d'une compression des objets ou de leur densité. Par exemple l'enfant peut utiliser l'argument du contenu d'air de l'objet très tôt, mais à partir d'un certain moment, cet argument ne sert plus à indiquer que l'air repousse l'eau, mais il signifie que l'objet contient plus ou moins de matière dans un même espace, c'est-à-dire est plus ou moins rempli. Le problème posé par cette grille, est sa complexité à mettre en œuvre hors d'un entretien clinique, en se basant uniquement sur des réponses écrites : interpréter ces courts écrits de l'enfant à l'aide d'une telle grille, implique d'accorder un maximum de crédit à ses réponses. Il faut donc considérer les meilleurs arguments que l'enfant fournit. Par exemple, autour de 10 ans, il peut utiliser la notion de matière. Cependant contrairement à une période plus précoce où il l'utilise pour indiquer une certaine puissance due au matériau, à l'entrée de l'adolescence il l'utilise généralement pour

indiquer implicitement une conception en termes de poids spécifique à certain matériaux : certains matériaux seraient généralement plus lourds que d'autres, et donc plus ou moins susceptibles de couler. La matière et le contenu de l'objet sont des conceptions plus élaborées qu'il ne semble, et constituent en fait des préconceptions de la densité, au contraire de la grille précédente de Howe et al. (2005) qui suppose qu'il s'agit de conceptions erronées.

Description des stades et sous-stades – Les stades et sous-stades composés sont inspirés de Piaget (1927) et Inhelder et Piaget (1955). Le travail de Laurendeau et Pinard (1962) qui s'inspire également de ces travaux a été utile pour préciser les arguments que l'on retrouve dans chacun des sous-stades indiqués (voir Tableau 10) :

- Dans un stade 0, les réponses indiquent l'incompréhension de l'enfant. Il peut ne rien écrire, ou bien indiquer qu'il ne sait pas quoi répondre pour justifier ou expliquer.
- Dans un stade 1, l'enfant fait preuve de finalisme ou de vitalisme. Il peut faire de simples constats du phénomène, sans en expliquer les raisons, ou bien indiquer qu'un mécanisme interne ou la façon dont on pose l'objet, explique le phénomène de flottaison. Dans ces dernières explications, l'enfant suppose une certaine énergie dans l'objet.
- Dans un sous-stade IIA, l'enfant suppose que l'objet doit disposer d'une certaine puissance pour pouvoir flotter. Cette puissance est attribuée à des caractéristiques physiques telles que la rigidité de l'objet, sa forme, la notion de masse dite « erronée » (l'objet lourd aurait tendance à flotter et le léger à couler), la taille indiquée de manière « erronée » (l'objet gros a tendance à être lourd et donc à flotter ; inversement, l'objet petit a tendance à être léger et donc à couler), ou encore l'eau dispose d'une certaine force ou résistance à l'immersion de l'objet.
- Dans un sous-stade IIB, l'enfant inverse le sens du dynamisme. L'objet coulerait du fait de son matériau supposé couler/flotter, du fait qu'il a une certaine masse (l'objet lourd a tendance à couler, le léger à flotter), une certaine taille (les objets gros sont généralement lourds donc coulent, et les petits flotteraient donc), ou encore la quantité d'eau permettrait ou non la flottaison de l'objet.
- Dans un sous-stade IIIA, l'enfant évoque des préconceptions de la compression ou de la densité des objets. Il se réfère au contenu de l'objet (en air, en eau ou autre contenu), ou encore il indique à la fois les arguments de masse et de matériau, ce qui laisse penser qu'il établit une pseudo-densité des objets à travers les matériaux dont ils sont composés.
- Dans un sous-stade IIIB, l'enfant indique qu'il maîtrise opérationnellement les notions de masse et de volume pour penser la densité. Il peut donc argumenter en termes de masse volumique de l'objet, de masse de l'objet par rapport à l'eau, ou enfin de densité relative de l'objet par rapport à l'eau.

Tableau 10 – Echelle de la qualité conceptuelle des explications et justifications

Type du stade	Sous-stade	Codage	Description et arguments-type
Incompréhension	0	0	- Description : l'enfant constate qu'il ignore les raisons du phénomène, affirmation sans explication - Arguments-type : 0 ; je ne sais pas.
Précausalité	I	1	- Description : animisme, vitalisme - Arguments-type : constat, fonctionnement (c'est-à-dire la façon dont on pose l'objet, mécanisme interne…)
Explications physiques mais avec des raisons non-pertinentes ou incohérentes	IIA	2	- Description : dynamisme, l'objet a assez de force pour flotter - Arguments-type : rigidité (« l'objet est dur », « il est mou »…), forme (« l'objet est fin »), masse erronée (« l'objet flotte car il est lourd »), taille erronée (« l'objet flotte car il est petit »), force ou résistance de l'eau (« l'eau a beaucoup de force »…)
	IIB	3	- Description : dynamisme 2, l'eau n'a pas assez de force pour soutenir l'objet - Argument-type : matière (« l'objet flotte car il est en bois »), masse (« l'objet flotte car il est léger »), taille (« l'objet flotte car il est gros »), quantité d'eau (« il y a beaucoup d'eau »…),
Explications physiques cohérentes	IIIA	4	- Description : physicalisme naïf - Argument-type : contenu d'air, d'eau ou autre contenu de l'objet (« l'objet contient de l'air »), matière et masse (« l'objet est en bois et le bois est léger »)
	IIIB	5	- Description : physicalisme pré-formel et formel - Argument-type : masse volumique, masse de l'objet par rapport à l'eau, densité

5.5.6 – Analyse des conduites épistémiques

Objectif de l'analyse des activités – L'une des originalités de la méthodologie choisie est la prise en compte des activités instrumentales spontanées des enfants. En effet l'objectif du travail est de comprendre comment l'articulation de temps solitaires et collectifs de travail engendre des activités différentes, qui sont médiatrices des évolutions cognitives. Une analyse des activités a été réalisée : en étudiant la manière dont les enfants produisent l'explication générale en pré-test et post-test et durant l'entraînement ; la manière dont ils s'engagent dans des pratiques avec les objets et les instruments confiés ; et en analysant finement les conduites de quelques dyades. Pour cette étude, cette analyse sert essentiellement à déterminer si les enfants s'engagent dans les mêmes types d'activités durant l'entraînement et si des différences d'activités peuvent expliquer des différences d'évolution cognitive de pré-test à post-test. Cette analyse permet donc de définir des tendances de l'autorégulation des connaissances des enfants selon qu'ils travaillent seuls ou à deux ou en changeant de situation.

Choix d'un codage extensif des pratiques durant l'entraînement – Tout d'abord les prédictions et les explications générales produites pendant l'entraînement ont été analysées en suivant les mêmes indicateurs et les mêmes techniques d'analyses que précédemment. Ensuite, l'analyse et la comparaison des activités instrumentales des enfants durant l'entraînement ont été effectuées par un visionnage extensif et un codage de l'ensemble des séquences d'entraînement enregistrées. Du fait du caractère extensif de cette analyse, c'est un codage limité qui est réalisé

dans un premier temps. Ce codage permet néanmoins de définir par exemple la part d'activité expérimentale engagée par les enfants, l'utilisation de certains outils, l'utilisation de certains outils avec certains objets, le temps passé à la production écrite d'une explication, ou l'engagement simultané ou non des partenaires dans les activités.

Codage des séquences durant l'entraînement – Les vidéos analysées correspondent au temps durant lequel les élèves doivent élaborer librement une explication générale. Ces films commencent au moment où l'adulte a terminé de dire la consigne, et se termine lorsque les deux enfants ont dit avoir terminé. Un échantillonnage du temps est effectué. A chaque séquence de 20 secondes, on code la présence ou absence de certains comportements pour chaque apprenant, en particulier à l'aide d'une feuille de codage (voir Annexes K et L) :

- les objets touchés
- les outils touchés (balance, aquarium, récipient gradué, pâte à modeler)
- une activité d'écriture sur la feuille de réponse

5.6 – Hypothèses

Types d'hypothèses – Deux grands types d'hypothèses permettent d'étudier le rôle des articulations de temps solitaires et collaboratifs de travail entre enfants. Il s'agit d'abord bien entendu des performances à prédire, justifier et expliquer le phénomène de flottaison en pré- et post-test. Il s'agit ensuite des performances réalisées durant l'entraînement par les individus ou les dyades d'individus pour prédire la flottaison d'objets et expliquer le phénomène.

5.6.1 – Hypothèses de pré- à post-test

Concernant les prédictions :

• H1 – Il y a de pré-test à post-test immédiat et différé, une progression plus importante des prédictions correctes (score PR) dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

Concernant les justifications des prédictions :

• H2 – Il y a de pré-test à post-test immédiat et différé, une progression plus importante du score FT dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

• H3 – Il y a de pré-test à post-test immédiat et différé, une progression plus importante du score CL dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

Concernant les explications générales :

• H4 – Il y a de pré-test à post-test immédiat et différé, une progression plus importante du score FT_{exp} dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

• H5 – Il y a de pré-test à post-test immédiat et différé, une progression plus importante du score Niv_{exp} dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

5.6.2 – Hypothèses durant l'entraînement

Concernant les prédictions :

• H6 – Il y a durant l'entraînement, une progression plus importante des prédictions correctes (score PR) dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

Concernant les explications générales :

• H7 – Il y a durant l'entraînement, une progression plus importante du score FT_{exp} dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

• H8 – Il y a durant l'entraînement, une progression plus importante du score Niv_{exp} dans les conditions IDI et DID par rapport aux conditions DDD et III.

5.6.3 – Exploration des conduites épistémiques

Dans toute étude comprenant des entraînements individuels ou collectifs, on peut se voir opposer que les performances diffèrent du fait que les processus et activités mis en place divergent. La comparaison est donc limitée. Dans l'étude présente, l'autonomie des conduites est essentielle. Leurs différences selon l'entraînement sont prises en compte pour expliquer les différentes performances. Nous nous intéressons donc aux caractéristiques des conduites des élèves pendant l'entraînement en fonction des conditions expérimentales. Accompagnée d'études de cas, cette analyse offre des perspectives d'interprétation des résultats précédents.

CHAPITRE 6 – CONSTRUCTION DE L'ECHELLE D'EVALUATION DES CONCEPTIONS

Afin d'étudier l'évolution des justifications et des explications, nous avons d'abord utilisé l'échelle qu'emploient Howe et al. (2005). Ce choix permet de comparer nos résultats avec l'étude qui a inspiré cette recherche. De plus, cette échelle devait servir à déterminer les effets de l'entraînement selon les conditions expérimentales. Un constat surprenant s'est alors imposé : l'entraînement amène une régression générale de la qualité conceptuelle. L'application d'échelles d'évaluation d'autres travaux (par exemple, Howe et al. 1990 ou Brainerd & Allen, 1971) a amené le même constat. Or il est difficile théoriquement d'étayer l'idée d'une régression des conceptions des enfants. Cet étrange constat a permis une réflexion critique et la construction d'une échelle d'évaluation plus appropriée pour caractériser l'évolution des participants. La construction de cet outil clarifie des questions méthodologiques en décrivant la nature des problèmes rencontrés par les participants dans ce dispositif expérimental. Dans ce chapitre, les résultats sont d'abord comparés avec une étude de référence (1), puis des pistes explicatives sont éliminées (2), une nouvelle analyse avec une grille de lecture différente est appliquée (3) et illustrée par le suivi des réponses d'un enfant (4). Le problème posé aux enfants apparaît en partie précisé et mieux circonscrit (5). Les données statistiques sont en Annexe (voir Annexe M).

6.1 – Comparaison avec la recherche de Howe et al. (2005)

On peut comparer nos données à celles de la première étude de Howe et al. (2005) dont la méthodologie a inspiré cette recherche. Ce procédé permet d'estimer la validité des données et d'éclairer réciproquement les deux séries de données.

6.1.1 – A propos des participants et des tâches

L'âge des participants – L'étude de Howe et al. (2005) est conduite avec des enfants de 9 à 12 ans, non différenciés dans les résultats. Les moyennes présentées, regroupent en un seul ensemble les réponses des diverses classes d'âge. Dans notre étude, les élèves ont 10 ans.

Le recueil des réponses en pré- et post-test, et le nombre d'objets estimés – Dans l'étude de Howe et al. (2005) comme dans cette étude, les réponses écrites de pré- et post-test sont recueillies individuellement et en classe. Le nombre d'items présentés est identique : il est demandé de prédire et justifier la flottaison de six objets quotidiens concrets, suivis de six objets évoqués. Enfin, les données des études peuvent être comparées en pré-test et en post-test immédiat, les post-tests différés étant placés à des intervalles différents.

6.1.2 – Présentation de la grille d'analyse de Howe et al. (2005)

Echelle d'évaluation – Le codage de Howe et al. (2005) a permis d'estimer la qualité conceptuelle des réponses. Cette grille rend compte de la complexification progressive des idées par la coordonnant progressive des facteurs physiques. Cette échelle est donc logique du point de vue expert. Les justifications sont évaluées avec l'échelle suivante (voir Tableau 6, p.111) :
- 0, si aucune propriété physique n'est citée ;
- 1 si une propriété physique non-pertinente est citée (arguments : matière, forme, rigidité, position/fonctionnement, contenu d'air, d'eau ou d'autre élément) ou une propriété pertinente mais utilisée en sens contraire (arguments : masse erronée, taille erronée…) ;
- 2 si une propriété physique pertinente est citée (arguments : masse, taille, quantité d'eau) ;
- 3 si les enfants coordonnent plusieurs variables pertinentes (arguments : masse volumique ; masse de l'objet par rapport à la masse de l'eau, résistance de l'eau) ;
- 4 si la justification compare la densité de l'objet et de l'eau.

Indicateurs utilisés – Howe et al. (2005) mesurent trois aspects du développement des conceptions. La productivité argumentative est évaluée par le nombre de facteurs que l'enfant évoque dans les douze items (score FT). La qualité des conceptions est évaluée à l'aide de deux indicateurs. Ils comptabilisent le nombre d'arguments pertinents, c'est-à-dire codés 2 ou plus sur la grille d'évaluation (score TR). D'autre part, ils font la somme des niveaux atteints par le meilleur argument de chaque justification (score CL).

6.1.3 – Comparaison avec l'étude de Howe et al. (2005) des justifications de pré-test

Des scores comparables en pré-test – Des analyses t-test pour un échantillon ont été réalisées pour comparer les données recueillies en pré-test à celles de Howe et al. (2005). En pré-test, l'écart entre les données n'est pas significatif pour les scores FT et TR (*ns*). Il y a en revanche un écart dans le score CL entre les deux études, $t(105) = 2{,}858$, $p = .005$, $d = .28$: les élèves de Howe et al. (2005) obtiennent un score moyen de 17,56 ($M = 17{,}56$; $SD = 3{,}49$) et les enfants rencontrés ont un score moyen de 16,42 ($M = 16{,}42$; $SD = 4{,}12$). Les enfants produisent autant d'arguments que ceux de Howe, et autant d'arguments jugés pertinents. Cependant, ils atteignent un niveau conceptuel moins élevé (voir Tableau 11). Ceci peut être attribué au fait que les enfants de Howe et al. (2005) ont de 9 à 12 ans. Etant en moyenne plus âgés, ils donneraient des arguments plus avancés.

Tableau 11 – Moyenne (et écart-type) des scores FT, TR et CL en pré-test dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente

Pré-test	Groupe	FT		TR		CL	
Etude présente	9 ans	12,31	(3,40)	4,00	(2,92)	13,87	(5,26)
	10 ans	14,17	(3,95)	6,61	(3,15)	16,42	(4,12)
Howe et al. (2005) (étude 1)	Weakset	13,67	(2.80)	6,90	(2,59)	17.73	(3,52)
	Strongset	13,29	(2.73)	6,87	(2,43)	17.39	(3,47)

Notes. Weakset, Strongset = conditions expérimentales de l'étude 1 de Howe, McWilliams & Cross (2005).

6.1.4 – Comparaison avec Howe et al. (2005) de l'évolution des justifications

L'entraînement proposé par Howe et al. (2005) – Dans l'étude de Howe et al. (2005), les participants s'entraînent à trois ou quatre élèves, et effectuent six fois la même séquence d'activités avec des ensembles de trois objets. Pour chaque objet, ils écrivent individuellement une prédiction, confrontent leurs prédictions, se mettent d'accord pour écrire une prédiction commune, vérifient concrètement, puis discutent de l'explication du phénomène. Cette séquence d'activité correspond à l'entraînement de la condition « weakset » ; les élèves de la condition « strongset » suivent ce même entraînement, mais se concertent finalement séparément sur les objets qui flottent puis sur ceux qui coulent, pour déterminer les facteurs importants.

Analyse des évolutions – Howe et al. (2005, p.76) utilisent une ANOVA simple pour comparer les scores de pré-test, post-test immédiat et post-test différé. Les chercheurs constatent que les trois scores FT, TR et CL, progressent de pré- à post-test. Pour faciliter la comparaison avec leurs résultats, la même technique statistique est employée. Une ANOVA simple indique :

- pas de différence générale du score FT de pré- et post-test, $F(2, 317) = 2{,}713$, *ns*
- une différence significative du score TR en pré- et post-tests, $F(2, 317) = 18{,}162$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .103$: il y a notamment une régression de pré-test à post-test immédiat (Scheffé, $p < .001$) et de pré-test à post-test différé (Scheffé, $p < .001$).
- une différence significative du score CL, $F(2, 317) = 6{,}411$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .039$: il y a une régression générale de pré-test à post-test immédiat (Scheffé, $p = .002$), mais pas entre pré-test et post-test différé (*ns*).

Des ANOVA à plan mixte 3 (temps) x 4 (groupe expérimental) ont été réalisées pour comparer l'évolution de chaque score selon le groupe expérimental. Ces analyses ne sont pas détaillées pour ne pas alourdir le propos. Elles confirment les résultats précédents (voir Tableaux 12 et 13).

Des évolutions opposées – En post-test, il y a une diminution de la pertinence des justifications, contrairement à Howe et al. (2005). Dans cette dernière étude, les participants travaillent en groupe. Si on réplique les analyses avec les enfants collaborant (condition DDD), le score TR évolue significativement entre les trois temps, $F(2, 83) = 6{,}173$, $p = .002$, $f = .39$: il y a une régression de pré- à post-test immédiat (Scheffé, $p = .003$) : ces enfants qui collaborent, citent des facteurs moins pertinents. Ils ne se sont pas démotivés puisqu'ils ne citent pas moins de facteurs (score FT). Cette tendance est contraire aux attentes : un entraînement riche et répété est proposé, mais les élèves développent des justifications moins avancées alors que l'entraînement de Howe et al. (2005) favorise le nombre et la qualité des facteurs cités.

Tableau 12 – Gain moyen, pourcentage (et écart-type) de pré- à post-test immédiat des scores de justifications dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente

Etude	Groupe	FT			TR				CL			
		M	%	SD	M	%	SD		M	%	SD	
Etude présente	DDD	+0,54	+4%	(4,10)	-1,28	-26%	(3,32)		-1,39	-9%	(4,57)	
	Total	-1,27	-9%	(3,94)	-1,30	-23%	(3,18)	**	-2,06	-13%	(4,68)	**
Howe et al. (2005)	Weakset	+1,90	+14%	(4,69)	+0,80	+12%	(2,96)		+0,70	+4%	(3,92)	
	Strongset	+2,03	+15%	(3,84)	+1,00	+15%	(3,18)		+0,74	+4%	(4,19)	

Notes. ** p <.01 ; M = moyenne du score de gain ; % = score de gain en pourcentage ; s = écart-type ; DDD = entraînement uniquement dyadique ; Total = ensemble des participants de la recherche ; Weakset, Strongset = conditions expérimentales de l'étude de Howe, McWilliams & Cross (2005).

Tableau 13 – Gain moyen, pourcentage (et écart-type) de pré- à post-test différé des scores de justifications dans l'étude de Howe et al. (2005) et dans l'étude présente

Etude	Groupe	FT			TR				CL		
		M	%	SD	M	%	SD		M	%	SD
Etude présente	DDD	+1,60	+11%	(3,04)	+1,03	+31%	(2,67)		+2	+14%	(3,82)
	Total	+0,98	+8%	(3,21)	+0,54	+13%	(2,65)	**	+1,18	+8%	(3,87)
Howe et al. (2005)	Weakset	-1,90	-12%	(4,74)	+,33	+4%	(4,09)		0	0%	(4,69)
	Strongset	+,002	+1%	(3,89)	+,65	+8%	(3,90)		+1,19	+7%	(3,97)

Notes. ** p <.01 ; M = score de gain moyen ; % = score de gain en pourcentage ; SD = écart-type ; DDD = entraînement uniquement dyadique ; Total = ensemble des participants de la recherche ; Weakset, Strongset = conditions expérimentales de l'étude de Howe, McWilliams & Cross (2005).

6.1.5 – Des évolutions différentes

Une régression intrigante du niveau des conceptions – Les analyses précédentes ont montré que les données sont comparables en pré-test et qu'il existe des effets généraux de l'entraînement. La comparaison des données avec celles de Howe et al. (2005) révèle une évolution différente et inattendue. Après l'entraînement, les participants régressent sur le choix qualitatif des facteurs qui justifient leurs prédictions. Ils orientent leurs réponses sur d'autres arguments, moins bons d'après la grille d'analyse. Cette évolution soulève des questions à résoudre avant de poursuivre cette étude. En effet, ce travail supposait a priori que les tâches proposées allaient engendrer des apprentissages, du fait des interactions avec les objets, outils et entre apprenants. Il a été supposé que ces apprentissages seraient nuancés selon les conditions expérimentales, selon que les enfants travaillent plus ou moins seuls et à deux. Or c'est un effet général de « désapprentissage » qui semble se produire. Les enfants paraissent moins savants après l'expérimentation qu'au début. Avant de poursuivre, une investigation a été nécessaire pour démystifier cet apparent effet de désapprentissage.

6.2 – Les raisons d'un désapprentissage ? Certains enfants atteignent une limite conceptuelle

Les activités étaient-elles démotivantes ? Le problème leur a-t-il semblé trop difficile ? Les enfants avaient-ils des points de vue suffisamment hétérogènes ? L'environnement instrumental a-t-il amené de nouvelles difficultés ? Diverses pistes ne permettent pas d'expliquer un effet de « régression ». Il s'avère qu'en fait ce sont seulement certains enfants qui régresseraient.

6.2.1 – Des interprétations insuffisantes

La répétition des situations – Durant l'entraînement, les enfants reçoivent par trois fois les mêmes consignes : prédire, observer, vérifier la justesse de leurs prédictions, et produire une explication rationnelle. Ce phénomène de répétition peut avoir démotivé des élèves. Ceux-ci attendent généralement un guidage de l'adulte. Ils sont peut-être déstabilisés du fait que l'adulte

ne donne pas de retour sur le travail. Pourtant, il en va de même dans l'étude de Howe et al. (2005) : l'entraînement consiste à effectuer six fois la même séquence d'activités, avec trois objets différents à chaque fois, sans retour de l'adulte. Cette répétition encore plus fréquente, sans feedback de l'adulte, n'a pourtant pas provoqué de régression.

Le regroupement en dyade ou en groupe – Le phénomène de régression peut être dû à un problème méthodologique. Le fait de regrouper les enfants en dyades et de leur donner des outils ne favoriserait pas les progressions, alors que les regrouper en petits groupes et sans ces outils suffirait à les faire progresser comme dans les travaux de Howe et al. (1990, 2005). Ces chercheurs supposent que c'est la coordination des cognitions qui favorise l'apprentissage, notamment par le rôle structurant du langage. Si ce processus est défaillant dans l'étude présente, les participants devraient stagner et non pas régresser.

La structuration des activités – Howe et al. (2005) proposent des séquences d'activités davantage structurées. Dans l'étude présente, les enfants ont plus d'autonomie pour réaliser les activités souhaitées. Il est possible que l'organisation des activités par l'adulte soit donc responsable des progrès observés par ces chercheurs, alors que l'organisation autonome de l'activité conduirait les enfants sur des pistes peu fructueuses ou déstabilisantes. Cependant, les participants ont en large majorité exploré activement le contexte. Cette situation instrumentée est prisée des enfants en milieu scolaire car ils y trouvent une liberté inhabituellement accrue pour construire leurs idées. Il est peu probable que la situation soit démotivante du fait d'un problème d'engagement dans la situation, mais des éléments de cette situation les conduisent à changer leurs conceptions dans un sens inattendu.

6.2.2 – Le niveau de développement initial

Différencier les enfants par le niveau modal – L'hétérogénéité des niveaux de conception des enfants a pu masquer certains effets : l'effet de régression peut être du aux enfants qui ont une certaine du phénomène. Certains enfants régressent peut-être davantage que d'autres en fonction de leur niveau. Le niveau modal permet de déterminer la conception principale de l'enfant sur l'ensemble des justifications qu'il produit, en suivant l'échelle de Howe et al. (2005) (Le calcul du niveau modal est explicité dans la méthodologie, voir 5.5.3).

En pré-test – En pré-test, la plupart des enfants sont de niveau intermédiaire entre 1 et 2 (N = 36), c'est-à-dire qu'ils justifient à la fois avec des facteurs physiques isolés et pertinents et des facteurs physiques isolés mais non-pertinents (arguments : masse ou taille appliqués de manière incorrecte, forme, contenu, rigidité, position/fonctionnement), ou de niveau 2 (N = 31), c'est-à-dire qu'ils justifient avec des facteurs physiques isolés et pertinents (masse ou taille appliqués de manière correcte, ou quantité d'eau). Un certain nombre d'enfants sont de niveau 1 (N = 24). Ils justifient à l'aide d'arguments physiques isolés et non-pertinents (voir Tableau 14).

Les enfants évoluent-ils en fonction de leur niveau modal initial ?– On cherche à savoir si l'ensemble des enfants régresse dans la qualité conceptuelle des justifications, ou si cela concerne les enfants de certains niveaux. En raison de faibles effectifs dans les niveaux faibles et élevés, les enfants ont été rassemblés en quatre rangs, selon qu'ils sont :

- de rang A (N = 34), c'est-à-dire de niveau modal égal ou supérieur à 2 ;

- de rang B (N = 36), c'est-à-dire de niveau modal intermédiaire entre 1 et 2 ;
- de rang C (N = 24), c'est-à-dire de niveau modal 1 ;
- de rang D (N = 12), c'est-à-dire de niveau modal 0 ou intermédiaire entre 0 et 1.

Ces regroupements permettent d'analyser grâce au score CL l'évolution de la qualité des conceptions en fonction du niveau modal initial des enfants. En pré-test, les divers groupes de niveau ont logiquement des scores CL différents. Nous avons analysé comme Howe et al. (2005), le gain du score CL de pré- à post-test : ces analyses portent sur la différence du score de chaque enfant entre pré-test et post-test immédiat, et entre pré-test et post-test différé.

Tableau 14 - Score CL moyen (écart-type) en pré-test et évolution de ce score au cours des pré- et post-tests en fonction du niveau modal (échelle de Howe et al., 2005)

Rang	N	Pré-test		Evolution de pré- à post-test immédiat		Evolution de pré- à post-test différé	
A	34	20,24	(2,88)	-4,85	(3,85) **	-4,38	(4,67) **
B	36	16,86	(2,59)	-1,97	(4,10) **	-0,83	(3,85)
C	24	13,12	(2,11)	+0,62	(3,51)	+2,00	(4,31)
D	12	10,83	(1,85)	+0,17	(3,51)	+3,00	(4,29)
Moyenne	106	16,42	(4,12)	-2,07	(4,36)	-0,91	(5,05)

Notes. ** p <.01 ; A = enfants de niveau modal égal ou supérieur à 2 ; B = enfants de niveau modal intermédiaire entre 1 et 2 ; C = enfants de niveau modal 1 ; D = enfants de niveau modal 0 ou intermédiaire entre 0 et 1.

En post-test immédiat, les enfants du niveau le plus élevé régressent – Une ANOVA factorielle permet de comparer le gain du score CL (différence du score CL en post-test immédiat et en pré-test) selon le groupe expérimental et le rang des enfants. Elle révèle seulement un effet significatif du rang, $F(3, 90) = 9{,}552$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .242$. Les analyses post-hoc montrent une différence d'évolution entre les enfants de rang A qui régressent (M = -4,85 ; SD = 3,85) et :

- les enfants de niveau C (M = +0,62 ; SD = 3,51) (Bonferroni, $p < .001$) ;
- les enfants de rang D (M = +0,17 ; SD = 3,51) (Bonferroni, $p = .006$).
- il n'y a pas de différence avec les enfants de rang B (M = -1,97; SD = 4,10) (*ns*).

Les analyses post hoc (t-test de mesures appariées pour chaque groupe avec correction de Bonferroni : $\alpha/4 = .0125$) indiquent également :

- une régression des enfants de rang A, $t(33) = 7{,}357$, $p < .001$; $d = 1.26$;
- une régression des enfants de rang B, $t(35) = 2{,}890$, $p = .007$, $d = 0.48$;
- pas d'évolution pour les enfants de rang C (*ns*) ou de rang D (*ns*).

Par conséquent, les enfants qui ont les niveaux modaux les plus élevés en pré-test régressent.

En post-test différé les enfants du niveau le plus élevé régressent – Des analyses similaires indiquent que la tendance est la même entre pré-test et post-test différé. Une ANOVA factorielle comparant l'évolution du score CL entre pré-test et post-test différé en fonction du rang et du groupe expérimental, indique un effet principal du rang, $F(3, 90) = 13{,}092$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .304$. Les analyses post-hoc montrent une différence d'évolution entre les enfants de rang A qui régressent (M = -4,38; SD = 4,67) et :

- les enfants de rang B (M = -0,83 ; SD = 3,85) (Bonferroni, $p = .027$).
- les enfants de rang C (M = +2,00; SD = 4,31) (Bonferroni, $p < .001$) ;
- les enfants de rang D (M = +3,00 ; SD = 4,29) (Bonferroni, $p < .001$) ;

Les analyses post-hoc indiquent une différence d'évolution en post-test différé entre les enfants de rang B et ceux de rang D (Bonferroni, p = .036). Les analyses post hoc (t-test de mesures appariées pour chaque groupe avec correction de Bonferroni : α/4 = .0125) indiquent également :

- une régression significative des enfants de rang A, $t(33)$= 5,471, p < .001, d = .93 ;
- des évolutions non significatives des enfants de rang B, C ou D, *ns*.

L'évolution conceptuelle des justifications de pré- à post-test différé est différente selon les niveaux. Les enfants des plus hauts niveaux ont régressé, mais les enfants qui ont un score moins bon n'ont pas évolué durablement. Donc le processus expérimental n'a pas été défavorable à l'ensemble des enfants. L'effet de désapprentissage n'est observé que pour les enfants qui ont initialement des justifications avancées (voir Figure 7). On se demandera : pourquoi ces enfants qui ont au départ un bon niveau conceptuel dans les justifications, régressent ensuite ?

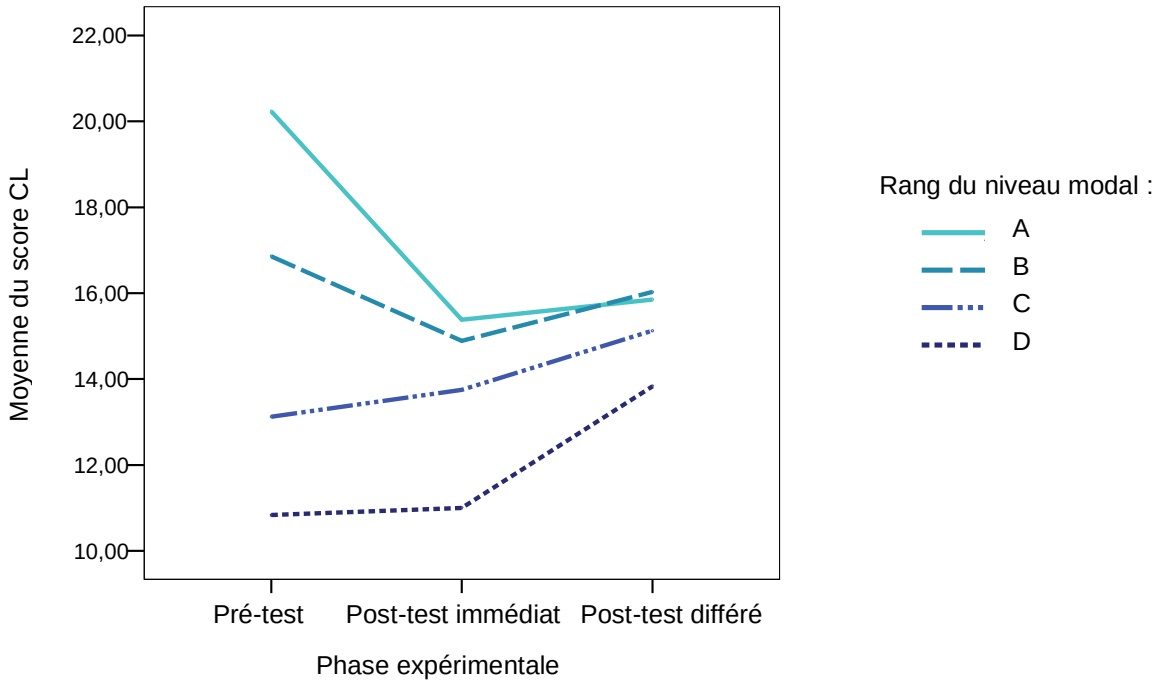


Figure 7 – Evolution du score CL de pré- à post-test en fonction du niveau modal (échelle de Howe et al., 2005)

Une limite conceptuelle explique les effets paradoxaux – A la fin de cette investigation, deux constats sont repérés. La qualité conceptuelle des justifications a tendance à régresser en post-test. D'autre part, les évolutions diffèrent selon le niveau conceptuel des enfants en pré-test : ce sont les plus avancés qui régressent. Cependant, les critères utilisés tels que le niveau modal ou le score CL, sont des indicateurs flous. Qu'est ce qui contraint le développement au sein de ces rangs ? Quelles conceptions préalables sont modifiées grâce à l'entraînement ? Les enfants ayant un niveau modal de 2 ou plus se caractérisent par des justifications avec la masse ou le volume de l'objet ou encore la quantité d'eau, selon l'échelle de Howe et al. (2005). Parmi ces arguments, la masse est le plus fréquent : ces élèves de niveau 2 ou supérieur utilisent l'argument de la masse, appliqué dans le sens correct, dans 68% des justifications (la taille ou de la quantité d'eau n'interviennent que dans 1% des justifications). Ces enfants ont en pré-test une conception selon laquelle la masse justifie que l'objet flotte ou coule. En post-test différé, ils continuent

d'utiliser l'argument de la masse mais moins souvent, dans 42% des justifications seulement. L'entraînement proposé amène donc à douter de l'argument de la masse de l'objet. La remise en question de cette conception naïve n'est pas prévue par l'échelle de Howe et al. (2005). L'idée d'un « désapprentissage » est due à l'échelle choisie. Ces enfants ont évolué vers des conceptions qui leurs semblent rendre mieux compte du phénomène, même si elles paraissent plus archaïques pour l'adulte. La théorie piagétienne explique l'abandon de cette conception de la masse.

6.3 – Le développement conceptuel est différent avec une lecture piagétienne

On cherche pourquoi les enfants justifient globalement moins correctement les prédictions après l'entraînement. Il s'agit de comprendre pourquoi ils abandonnent certaines justifications. Le choix de l'échelle d'évaluation peut être remis en question. Cet outil peut être mal adapté pour évaluer l'évolution des conceptions de l'enfant.

6.3.1 – Reprendre le développement conceptuel selon Inhelder et Piaget (1955)

Une autre vision du développement – La seule théorie qui explique cette régression, est la théorie piagétienne. Inhelder et Piaget (1955) se sont penchés sur le problème de la flottaison des objets et sur le fait que l'enfant se confronte à plusieurs difficultés, qui apparaissent en fonction de l'évolution de sa pensée, et lui imposent de nouvelles contradictions, c'est-à-dire de nouveaux problèmes. Ces contradictions montrent que le développement ne se complexifie pas de manière cumulative mais nécessite d'apparents retours en arrière. La mesure de ce changement subtil des conceptions de l'enfant dépend de la précision de nos grilles d'analyse.

Une évolution complexe – Le travail d'Inhelder et Piaget (1955) nous intéresse parce qu'il décrit le passage de la pensée concrète à la pensée formelle, souvent autour de l'âge de 11-12 ans. Mais surtout, il décrit finement l'évolution de la pensée lorsque l'enfant se confronte à des expériences concrètes semblables à cette recherche. L'échelle proposée par Howe et al. (2005) peut donc être affinée pour cette tranche d'âge. En effet, à cet âge, la plupart des enfants sont déjà capables d'utiliser l'argument de la masse, pour dire que les objets lourds ont tendance à couler. Cependant, il y a encore parfois une confusion entre la masse et le volume. Pour pouvoir penser qu'un objet puisse être à la fois petit mais lourd, ou gros mais léger, l'enfant doit distinguer les concepts de masse et de volume. Or le concept de volume est maîtrisé tardivement (Piaget & Inhelder, 1941). Pour pouvoir distinguer la masse et la densité des objets avant même qu'il ne conserve les volumes, l'enfant développe des conceptions naïves intermédiaires. Ces conceptions permettent de dépasser des contradictions à l'aide de schèmes opératoires concrets, avant de parvenir à rationaliser la masse et le volume par des opérations formelles. Après que l'enfant maîtrise une notion relativement floue de la masse de l'objet, encore mal détachée des notions de densité et de volume, l'enfant peut développer deux conceptions intermédiaires.

Un premier sous-niveau : masse et matière – Vers 7-9 ans (sous-stade IIA), l'enfant fait face à une contradiction. Comme la masse seule ne peut expliquer la flottaison des objets, il relativise cette notion en fonction du matériau. Il pense alors en termes de poids spécifique au matériau. Implicitement, il constate qu'une quantité d'un matériau n'a pas la même masse qu'une

même quantité d'un autre matériau. L'argument de la matière, utilisé autour de 5 ans pour distinguer des éléments plus ou moins capables de flotter, semble re-apparaître à cette période du développement. Seulement, à présent que l'enfant a une certaine conception par la masse où l'objet lourd coule, il évoque la matière pour désigner une forme de densité en termes de masse spécifique (le fer est plus lourd que le bois, etc…). L'enfant utilise donc la matière en lui attribuant une lourdeur spécifique. Cela lui permet de résoudre certaines contradictions, comme le fait qu'un gros morceau de bois flotte mais qu'un petit caillou coule. Parvenu à cette étape du développement, de nouvelles contradictions se posent : un même matériau peut couler ou flotter.

Un second sous-niveau : masse et contenu – A partir de 9 ans environ (sous-stade IIB), l'enfant développe un nouveau schème de compréhension : les objets malgré leur poids spécifique du à la matière, peuvent être plus ou moins « remplis ». Alors un objet en bois mais très compressé semble pouvoir couler. L'enfant prend en compte l'espace intérieur à l'objet, qui peut contenir différentes choses, comme de l'air ou de l'eau. L'idée de contenance permet d'approcher l'idée de densité avec des schèmes opératoires concrets. L'enfant commence aussi à comparer l'objet au liquide dans lequel il est plongé, mais en prenant l'ensemble du liquide.

6.3.2 – Certains arguments problématiques

L'argument de la matière – Au cours de l'enfance, l'argument de la matière resurgit (Inhelder & Piaget, 1955) mais associé à l'idée de poids spécifique pour désigner une préconception de la densité. Il ne peut s'agir à ce moment d'une *misconception* ou d'un retour à une conception archaïque, comme l'indiquerait l'échelle de Howe et al. (2005). Certes on pourrait distinguer selon que l'enfant utilise seulement la matière (par ex : « le bois flotte »), ou bien la matière et la masse conjointement (par ex : « le bois c'est léger, alors ça flotte »). Cependant, là encore Piaget et Inhelder se montraient prudents : l'enfant pense souvent plus que ce qu'il ne dit. Autrement dit il peut penser la masse et la matière conjointement mais ne parler que de la matière, et supposer implicitement que les matières sont plus ou moins « lourdes », avec un poids spécifique. L'effort de l'enseignant sera de soutenir l'opérationnalisation de ce concept.

L'argument du contenu – Il en va de même avec l'argument du contenu. Cet argument apparaît au cours de l'évolution des conceptions de l'enfant, pour désigner la plus ou moins grande compression de la matière dans l'objet, et donc afin d'interpréter de manière originale les rapports entre masse et volume de l'objet. L'enfant qui utilise cet argument a une préconception de la densité en fonction de la compression de la matière.

La confirmation par l'analyse des structures conceptuelles – Avec une approche néo-piagétienne des structures conceptuelles, l'étude développementale de Bickerton (2000), montre effectivement que l'enfant vers 8 ans utilise l'idée de masse spécifique pour expliquer la flottaison, et vers dix ans il peut comprendre l'idée d'une matière plus ou moins compressée, faite d'éléments internes comme des particules (p.231). Bickerton (2000) décrit une nouvelle fois l'évolution repérée par Inhelder et Piaget (1955) : il y a bien un développement des conceptions en termes de poids spécifique au matériau puis de contenu de l'objet, en tant que préconceptions de la densité. L'étude constate qu'autour de dix ans, les enfants mettent davantage en relation des facteurs explicatifs, ce qui leur permet de compenser une dimension par une autre. L'enfant peut additionner ou soustraire un facteur à un autre pour les compenser. C'est le cas lorsqu'il

développe des réponses telles que : *« l'objet est plutôt léger mais il est tout petit »*. C'est également le cas avec l'argument du contenu d'air ou d'eau ou des matériaux de l'objet.

6.3.3 – Une nouvelle échelle d'évaluation des conceptions

Présentation – Une nouvelle grille d'analyse des conceptions a été créée, sur la base des travaux d'Inhelder et Piaget (1955). Cette grille tient compte des préconceptions naïves de la densité. Elle vise à rendre compte de la nature des conceptions et non du degré de coordination des facteurs. La grille est la suivante (voir Tableau 10, p.128) :

- 0, pas d'argument physique (réponse vide ou argument du type « je ne sais pas »),
- 1, justification non scientifique (constat, position/fonctionnement),
- 2, argument physique non-pertinent (rigidité, forme, masse erronée, taille erronée, résistance de l'eau),
- 3, argument physique pertinent mais isolé (matière, masse, taille, quantité d'eau),
- 4, argument indiquant une préconception de la densité (masse et matière citées dans la même justification, ou contenu),
- 5, argument indiquant une conception de la densité (masse de l'objet par rapport à l'eau, masse volumique) ou conception de la densité (argument d'un rapport de masse).

6.3.4 – Des résultats différents

Comparer l'échelle conceptuelle – Nous allons à présent voir la manière dont la nouvelle échelle rend compte des évolutions conceptuelles des élèves. Ces résultats sont comparés aux résultats précédemment obtenus avec la méthodologie de Howe et al. (2005) (voir 6.2.2).

Le niveau modal des élèves d'après l'échelle d'Inhelder et Piaget (1955) – Les enfants sont à nouveau différenciés en niveau modal. Du fait du changement d'échelle, les niveaux diffèrent. Nous utilisons à présent les niveaux définis par Inhelder et Piaget (1955) pour faciliter l'interprétation des données au regard de leur recherche (voir Tableau 10, p.128). Pour déterminer le niveau de développement à partir des douze justifications produites en pré-test, la technique du niveau modal est appliquée (voir 5.5.3). D'après cette technique, on trouve essentiellement des enfants de niveau IIB (N = 46), puis des enfants de niveau intermédiaire entre IIB et IIIA (N = 32), puis des enfants de niveau IIIA (N = 17). Pour permettre les analyses statistiques, les enfants sont regroupés en quatre catégories selon qu'ils sont :

- de niveau modal intermédiaire entre IIA et IIB ou inférieur, c'est-à-dire qu'ils utilisent souvent des arguments défaillants ou non-pertinents ou bien ils utilisent aussi des facteurs pertinents isolés, tels que matière, masse, taille, quantité d'eau (catégorie « ≤IIA+ »);
- de niveau IIB, c'est-à-dire qu'ils donnent souvent des facteurs pertinents mais isolés (catégorie « IIB ») ;
- de niveau intermédiaire entre IIB et IIIA, c'est-à-dire qu'ils commencent à utiliser des facteurs indiquant une préconception de la densité (catégorie « IIB+ ») ;
- enfin de niveau IIIA, IIIB ou intermédiaire entre ces niveaux, c'est-à-dire qu'ils utilisent généralement des facteurs qui sont des préconceptions de la densité (catégorie « ≥IIIA »).

Les enfants faibles évoluent différemment en post-test immédiat – Le gain du score CL est calculé pour chaque enfant (différence entre la performance de post-test et celle de pré-test). Une ANOVA factorielle est effectuée pour comparer l'évolution des conceptions des enfants de pré-test à post-test immédiat en fonction du niveau initial des enfants et du groupe expérimental (cette variable sera étudiée par la suite : il n'y a pas d'effet d'interaction du groupe et du rang, *ns*). Il y a un effet principal du niveau initial, $F(3, 90) = 5{,}456$; $p = .002$; $\eta_p^2 = .154$: il y a une différence d'évolution entre les enfants de niveau faible (« ≤IIA+ »), qui ont tendance à progresser ($M = +7{,}25$; $SD = 6{,}54$) par rapport aux autres enfants :

- de niveau IIB ($M = -1{,}76$; $SD = 5{,}85$) (Bonferroni, $p = .009$) ;
- de niveau intermédiaire entre IIB et IIIA ($M = -2{,}25$; $SD = 7{,}47$) (Bonferroni, $p = .003$) ;
- de niveau IIIA ou supérieur ($M = -4{,}15$; $SD = 7{,}42$) (Bonferroni, $p = .001$).

Un t-test de mesures appariées (avec correction de Bonferroni : $\alpha/4 = .0125$) pour chaque groupe d'apprenants indique cependant pas d'évolution significative dans chaque groupe. En post-test immédiat, on retrouve donc une tendance différente à ce qui a déjà été observé avec les techniques précédentes : cette fois-ci les enfants des niveaux les plus faibles ont davantage progressé que les autres. Les évolutions restent minimes (voir Tableau 15).

En post-test différé les enfants les plus faibles progressent – Une ANOVA factorielle comparant l'évolution du score CL entre pré-test et post-test différé est réalisée en fonction du niveau des enfants et du groupe expérimental (que nous étudierons plus tard : il n'y a pas d'effet d'interaction du groupe et du rang, *ns*). Elle indique un effet principal du niveau initial des enfants, $F(3, 90) = 5{,}681$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .159$. Les analyses post-hoc indiquent une différence d'évolution entre les enfants de niveau faible (inférieur à IIB), qui ont tendance à progresser ($M = +8{,}87$; $SD = 7{,}32$) par rapport aux autres groupes d'enfants, c'est-à-dire vis-à-vis des enfants :

- de niveau IIB ($M = -0{,}48$; $SD = 6{,}83$) (Bonferroni, $p = .002$),
- de niveau intermédiaire IIB+ ($M = -0{,}48$; $SD = 6{,}83$) (Bonferroni, $p = .004$),
- de niveau IIIA ou supérieur ($M = -2{,}35$; $SD = 7{,}17$) (Bonferroni, $p = .001$).

Un t-test de mesures appariées des scores pré-test et post-test différé est réalisé pour chaque groupe (correction de Bonferroni : $\alpha/4 = .0125$). Cette analyse indique que :

- les enfants de la catégorie ≤IIA+ progressent, $t(7)=-3{,}430$, $p = .011$, $d = 1.21$;
- les enfants des autres niveaux n'ont pas évolué significativement (*ns*).

De pré-test à post-test différé, les enfants des niveaux faibles ont progressé (voir Figure 8).

Tableau 15 – Score moyen (écart-type) en pré-test et évolution de ce score au cours des pré- et post-tests en fonction du niveau modal des enfants – Méthodologie d'Inhelder et Piaget (1955)

Catégorie	N	Pré-test	Evolution de pré- à post-test immédiat	Evolution de pré- à post-test différé
≤IIA+	8	22,37 (6,25)	+7,25 (6,54)	+8,87 (7,32) *
IIB	46	33,26 (4,95)	-1,76 (5,85)	-0,48 (6,83)
IIB+	32	36,59 (4,73)	-2,25 (7,47)	-0,37 (8,14)
≥IIIA	20	41,85 (6,05)	-4,15 (8,42)	-2,35 (7,17)
Moyenne	106	35,07 (7,04)	-1,68 (7,36)	-0,09 (7,72)

Notes. * $p < .05$; N = nombre d'individus ; ≤IIA+ = enfants classés de niveau modal inférieur ou égal au niveau intermédiaire entre IIA et IIB ; IIB = enfants de niveau modal IIB ; IIB+ = enfant de niveau modal intermédiaire entre IIB et IIIA ; ≥IIIA = enfants dont le niveau modal est égal ou supérieur à IIIA.

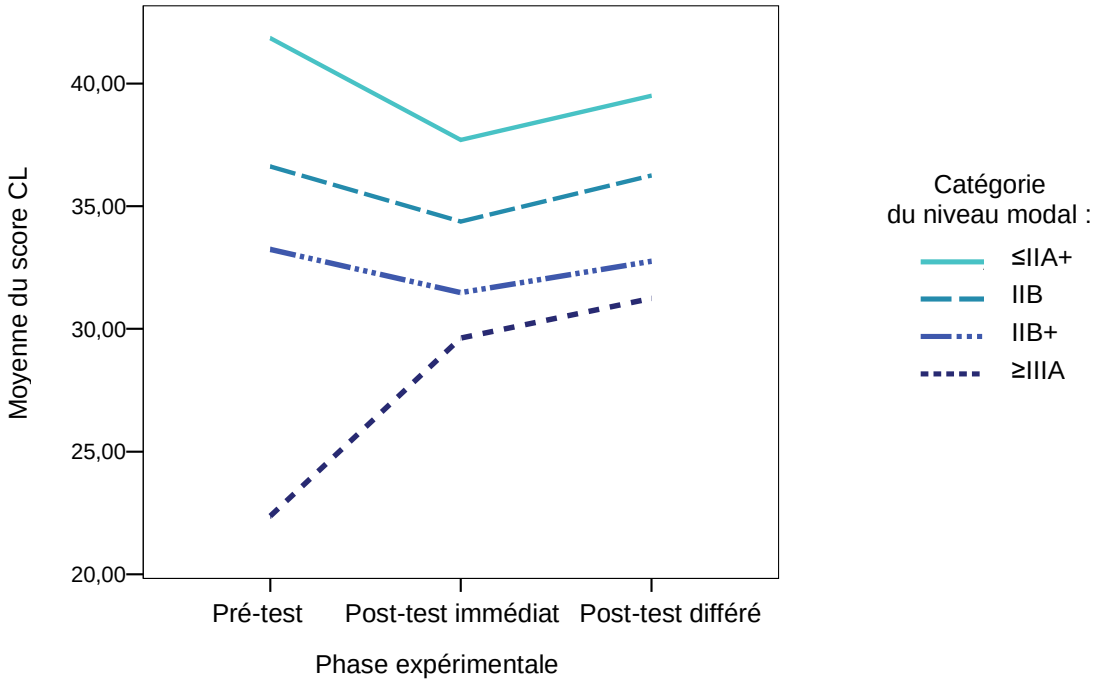


Figure 8 – Evolution du score CL de pré- à post-test en fonction du niveau modal (échelle inspirée d'Inhelder et Piaget, 1955).

6.3.5 – Les enfants les plus faibles progressent.

Conclusion – En post-test différé, seuls les enfants des niveaux les plus faibles ont fortement progressé : 1 seul de ces enfants est resté de niveau faible en post-test différé, tandis que 5 sont passés au niveau IIB et 2 sont passés à des niveaux IIIA ou supérieur. On observe une tendance différente du fait du changement de grille d'analyse : selon les étapes du développement conceptuel proposées par Inhelder et Piaget (1955), certains enfants progressent suite à l'entraînement, tandis que les autres conservent leur niveau de compréhension du phénomène. L'analyse du développement conceptuel en suivant l'approche piagétienne, en suivant *au plus près* les conceptions de l'enfant, s'avère plus cohérente. Les évolutions s'interprètent mieux. Ces calculs donneraient raison à l'approche piagétienne. La suite permet d'en apprécier l'utilité.

6.4 – Illustration avec les justifications d'un enfant

Les analyses précédentes ne seraient qu'un mauvais tour de passe-passe statistique s'il n'y avait pas de conséquence théorique sous-jacente. Elles mettent certes un terme aux apparentes « régression » des enfants. Elles montrent surtout que le choix d'une grille d'analyse, et donc d'une théorie développementale, est à l'origine de cette confusion. Mais qu'est-ce que cela signifie dans le raisonnement de l'enfant ? Le suivi des justifications d'un enfant permet de tester la validité de ce choix (voir Annexe N).

6.4.1 – Le choix aléatoire d'un profil contradictoire

Un élève parmi d'autres – Sur l'ensemble des participants, huit élèves voient le niveau conceptuel des justifications régresser en post-test d'après l'échelle de Howe et al. (2005), et progresser d'après celle de Piaget et Inhelder (1955). Egalement, quatre élèves progressent selon la première échelle et régressent selon la seconde. Aléatoirement, un élève a été tiré parmi ces douze cas particuliers. Il s'agit de Victor (sujet 117), un garçon âgé de 10 ans et 7 mois au moment du pré-test, qui a été intégré à la condition expérimentale IDI.

6.4.2 – En pré-test

Le niveau conceptuel des justifications – En suivant l'analyse de Howe et al. (2005), Victor est initialement de niveau 2. Cela signifie que la plupart de ses justifications sont en termes de masse, de taille ou de quantité d'eau. Autrement dit selon cette grille d'analyse, il est capable de s'appuyer sur des facteurs physiques pertinents mais non coordonnés. Suivant l'échelle d'Inhelder et Piaget (1955), cet enfant est de niveau IIB.

Les justifications en pré-test – En pré-test, Victor s'appuie largement sur l'argument de la masse des objets, ce qui est cohérent avec le niveau obtenu d'après les deux échelles d'évaluation. L'argument de la masse est en effet considéré dans les deux perspectives comme une étape vers une conception de la densité. La pensée de l'enfant est relativement stabilisée autour de cette conception : les objets lourds coulent et les objets légers flottent. Il explique :
- l'éponge coule car l'objet *« se remplit d'eau et il coule »*,
- le trombone ou la bouteille flottent car *« c'est du plastique »*,
- le dé, la pile, la pomme de terre, le flacon en verre, et la boule de pétanque coulent car *« c'est un peu lourd »* ou *« c'est lourd »*, tandis que le glaçon ou l'iceberg flottent car *« c'est léger »*,
- deux justifications sont défaillantes (pour le cahier et le paquebot, il écrit *« je ne sais pas »*).

Des justifications de prédictions *a priori* – Les grilles d'analyses des arguments ne tiennent pas compte de l'adéquation de la justification à la prédiction. En l'occurrence, Victor fait des prédictions erronées concernant l'éponge ou le trombone, qu'il justifie par le contenu ou la matière. Mais il réalise aussi des prédictions correctes et cite *a posteriori* la masse pour justifier sa prédiction plutôt que pour décrire l'objet : ainsi un dé en plastique est supposé couler (prédiction correcte) parce qu'il serait lourd alors qu'il ne fait que 2g, et un iceberg est censé flotter du fait qu'il est léger alors qu'en général il s'agit d'objets massifs. En pré-test, Victor a donc une conception stable, qui pose peu de difficulté parce qu'elle est appliquée sans vraiment porter attention aux caractéristiques réelles de l'objet, pour justifier après coup son jugement.

6.4.3 – En post-test différé

Le niveau de développement des justifications – En post-test différé, suivant l'analyse de Howe et al. (2005), Victor est de niveau intermédiaire entre les niveaux 1 et 2. La plupart de ses justifications se font en termes de masse, de taille ou de quantité d'eau. Il est encore capable de s'appuyer sur des facteurs physiques pertinents. Mais il cite aussi des arguments non-pertinents à

présent, ce qui n'était pas le cas en pré-test. Suivant l'échelle d'Inhelder et Piaget (1955), cet enfant est passé d'un niveau IIB, au niveau intermédiaire IIB+ (entre IIB et IIIA) : il est parfois capable de faire preuve de préconception de la densité, mais il utilise souvent des arguments physiques plus élémentaires, de masse, matière, taille ou quantité d'eau.

Les justifications de Victor en post-test différé – En post-test différé, Victor utilise moins la notion de masse des objets, et se tourne vers de nouvelles notions notamment de contenu de l'objet en air, de matière flottante, et de lourdeur. Il explique ainsi :
- la bouteille flotte car *« c'est du plastique la bouteille et il y a de l'air à l'intérieur »*,
- l'élastique coule car *« ce n'est pas une surface lisse »*,
- la gomme ou l'ancre coulent car cet objet *« est lourd »* ou *« très lourd »*, mais le bouchon flotte car *« le bouchon est léger »*,
- la balle flotte *« car la balle est remplie d'air »*,
- la pièce coule car *« c'est du cuivre et c'est lourd »*,
- un arbre flotte *« car l'arbre est du bois »* ;
- quatre autres justifications sont défaillantes (par exemple concernant le savon il écrit *« je ne sais pourquoi il coule »* et concernant le piano il ne répond pas).

Des justifications adaptées aux prédictions et aux objets – A présent, Victor n'utilise la masse seule, qu'en considérant effectivement les caractéristiques de l'objet : la gomme ou l'ancre parce qu'elles sont lourdes, devraient couler, tandis que le bouchon, parce qu'il est léger, devrait flotter. Par contre, selon lui la pièce a une certaine lourdeur du fait de sa matière, ce qui la fait couler, alors qu'elle est légère dans l'absolu (environ 2g) et un arbre, pourtant bien plus lourd en général, flotte, non du fait qu'il serait léger, mais du fait de sa matière. Victor fait donc des prédictions et utilise l'argument de la masse de manière adaptée à l'objet. Il justifie sa prédiction après avoir prédit la réaction et repéré les particularités physiques de l'objet. En post-test différé, Victor semble disposer d'une conception moins stable : elle intègre une difficulté puisqu'elle est appliquée par rapport aux caractéristiques matérielles de l'objet. Contrairement au pré-test, *« l'explication commande la prévision »* (Piaget, 1927, p.159).

6.4.4 – Un enfant qui développe des contradictions

Une évolution légèrement différente – Selon la grille d'analyse d'Howe et al. (2005), Victor s'oriente vers des arguments non pertinents qui prennent peu à peu la place de l'argument de la masse des objets. Dans cette optique, Victor régresserait donc. Selon la seconde grille d'analyse, à la Piaget et Inhelder (1955), il développe des arguments moins pertinents, comme la rigidité de l'objet, mais également des arguments de contenu, ou de matière associée à la notion de masse. La diversité des arguments en post-test n'empêche pas l'argument de la masse de subsister. Victor cite davantage d'arguments erronés mais il fait également davantage de justification à plusieurs arguments. C'est pourquoi il progresse malgré tout. Cependant, Victor a alors une conception moins stabilisée qu'en pré-test, changeant d'arguments en fonction des objets. Faut-il y voir une régression, une adaptation, ou un début d'apprentissage ?

La prise en compte de contradictions par des compensations et des coordinations – L'évolution de Victor s'explique par sa confrontation à une difficulté qu'il n'éprouvait pas en pré-test, et face à laquelle il s'adapte. Par exemple en pré-test, il dit qu'un dé coule parce qu'il est

lourd alors qu'il s'agit d'un objet plutôt léger, ou qu'un iceberg flotte car il est léger alors qu'il s'agit d'un objet imposant. Ce sont des contradictions qu'il ne relève pas. Il applique sa conception, selon laquelle les objets supposés couler sont lourds. Il justifie sa prédiction sans véritablement regarder si cette explication correspond au réel. En post-test différé en revanche, il utilise les arguments du matériau ou du contenu, pour remplacer l'argument de la masse si celui-ci est difficile à appliquer au réel et ne peut pas expliquer la prédiction. Ainsi le bouchon flotte car il est léger, mais l'arbre qui est lourd flotte du fait de son matériau, et la pièce qui est pourtant légère coulerait du fait au poids spécifique de la matière. Victor maintient donc une conception en fonction de la masse des objets, mais qu'il assouplit pour tenir compte de contradictions avec le réel. Il compense l'argument de la masse, qui ne lui semble pas toujours pertinent, en citant des arguments de contenu ou de matière, ou en combinant l'argument de la masse avec l'argument de la matière, ce qui indique qu'il commence à penser que les matériaux ont un poids spécifique. Il progresse donc bien vers des préconceptions de la densité.

6.5 – Une problématique entre développement et apprentissage

L'objectif de cette recherche est d'étudier comment des articulations de temps individuels et collectifs contraignent le développement de conceptions physiques. Pour cela, la méthodologie prévoit un entraînement qui doit favoriser le développement de conceptions. On s'attend à ce que certaines conditions en profitent davantage. Or l'utilisation d'une grille d'analyse ou d'une autre amène des conclusions générales différentes : ou bien l'ensemble des enfants progresse ou bien ces enfants régressent. Nous avons montré que ces enfants ont progressé, à condition d'adopter une échelle particulière du développement. Ces précisions méthodologiques permettent de poursuivre l'objectif initial de la recherche, mais aussi de mieux comprendre le développement des conceptions.

6.5.1 – Des précautions pour les futures analyses

La coordination et le choix des concepts – L'échelle utilisée pour la suite de cette recherche est inspirée de Piaget et Inhelder (1955). Elle a la particularité de ne pas s'attacher uniquement à des arguments isolés, mais de repérer certaines conceptions, dans la coordination des arguments. C'est le cas en particulier si l'enfant produit ensemble les arguments de la matière et de la masse : cela dénote une nouvelle préconception, en termes de poids spécifique au matériau. Pour la suite de l'étude, il convient de bien séparer la capacité de l'enfant à coordonner des arguments et leur capacité à utiliser de nouvelles conceptions. C'est pourquoi il est important, à la manière de Howe et al. (2005), de distinguer les critères quantitatifs (score FT qui dénombre des arguments), et des aspects qualitatifs des conceptions (scores TR et CL qui distinguent la qualité des arguments). En effet, il est difficile de savoir si l'enfant va progresser en qualité ou en quantité dans ses arguments. Par exemple il peut donner moins de réponses du fait de ses incertitudes, mais quelques unes de ces réponses peuvent être de meilleur niveau conceptuel. On distinguera donc la quantité d'arguments que l'enfant peut donner et le niveau conceptuel qu'il peut atteindre, dans les justifications ou dans les explications générales. Enfin, il sera intéressant de voir si l'enfant développe certains arguments comme la masse, la matière ou le contenu, qui révèlent une préconception de la densité.

La cohérence des justifications aux prédictions et aux propriétés physiques – Un enfant peut faire des prédictions précises sans pour autant avoir une conception correcte, et inversement, il peut faire des prédictions incorrectes mais justifiées par des arguments scientifiques. C'est pourquoi nous avons étudié la précision des prédictions réalisées par les enfants, sur les objets concrets, dont on peut vérifier la flottabilité. Ceci permet de suivre le lien entre la capacité à prédire la flottaison et les conceptions explicites dans les justifications. Une dernière remarque ne peut être prise en compte dans la recherche présente, mais constitue une piste innovante pour la suite. Une justification est plus ou moins légitime en fonction de l'objet visé. En effet, une justification peut être pertinente, sans pour autant s'appliquer correctement aux caractéristiques physiques de l'objet. Par exemple, un enfant dit qu'un objet coule car il est dense, ce qui est une conception correcte, mais il dit cela à propos d'un objet qui justement est moins dense que d'autres objets qui flottent. L'argument est intéressant, mais il n'est pas cohérent par rapport au matériel. Que faire de cette justification avancée mais déconnectée de la réalité ? L'enfant applique une conception sans tenir compte des propriétés matérielles. C'est le cas de Victor (voir 6.4). Il relie parfois ses justifications à ses prédictions, mais pas avant l'entraînement. En pré-test, il justifie en ne tenant compte que des prédictions faites. En post-test par contre, il tient compte des prédictions et des caractéristiques réelles de l'objet. Le raisonnement suivi pourrait ressembler à ceci : il prédit qu'un objet coule ; cet objet devrait être lourd ; pourtant en regardant cet objet, il constate qu'il n'est pas lourd, il faut trouver un autre argument comme le fait que cet objet est fait d'un certain matériau. Dans cet exemple, la démarche est complexe ; en revanche, ce raisonnement tient à la fois compte de la prédiction intuitive, des caractéristiques matérielles de l'objet, et des conceptions actuelles de l'enfant. Il s'agit d'une évolution remarquablement intelligente. Il serait donc intéressant de suivre à la suite de cette recherche, si les justifications sont pertinentes vis-à-vis des prédictions mais aussi des propriétés physiques des objets.

6.5.2 – L'appropriation et la construction des connaissances

Une autre interprétation de Howe et al. (1990, 2005) – Howe et al. (1990, 2005) repèrent des progrès conceptuels dans un contexte qui reste limité au niveau des instruments (un aquarium, des plateaux « flotte « ou « coule » et des fiches de réponse). Pour ces chercheurs, l'interaction entre pairs dans un tel contexte permet de coordonner les cognitions individuelles, ce qui favoriserait une restructuration cognitive. Une autre explication serait que les enfants invoquent davantage d'arguments, grâce au travail en petit groupe plutôt qu'en dyade ; puis, ils retrouvent parmi ces arguments ceux qui sont souvent proposés à l'école par l'adulte dans les activités de science. Un consensus s'établirait entre les enfants sur des réponses culturellement valorisées. Les interactions verbales seraient moins importantes pour construire un raisonnement que pour se remémorer et négocier les attentes du tuteur.

Interpréter l'apparente régression des participants – A contrario, ce processus n'explique pas les résultats de la présente recherche. Les enfants semblent se poser un autre type de problème. Un ingrédient de cette expérimentation implique un autre processus psychologique : les instruments proposés présentent une source importante de contradictions. Ceci perturbe momentanément les enfants. Ainsi, l'argument de la masse est culturellement valorisé dans l'enseignement de la physique par rapport aux notions de matière ou de contenu des objets, qui sont des catégories naïves. Mais la balance peut conduire les enfants à constater que l'idée de

masse n'est pas acceptable pour justifier la flottaison. Dans le contexte instrumental proposé, les enfants rencontreraient des contradictions nouvelles par rapport à ceux de Howe et al. (1990, 2005). L'enfant ne s'approprie pas seulement le discours scientifique à l'école, mais élabore aussi par lui-même des connaissances en combinant des expériences contradictoires. De ce fait, la pensée de l'enfant évolue par diverses adaptations. Ces adaptations sont si complexes qu'elles peuvent mener l'enfant à d'apparentes régressions d'après l'adulte.

A chaque échelle des processus de développement différents ? – Les deux types de processus, appropriation et construction de concepts, sont différents mais pas opposés. Les études citées ne sont pas remises en cause. Ce sont les différences d'expérimentation qui orientent les enfants vers des processus différents. Les processus de développement des conceptions peuvent notamment s'impliquer à des échelles de temps différentes. Au cours de l'ontogenèse, l'enfant peut évoluer à travers différents types de conception. Au plan des apprentissages sur un temps plus court, d'autres processus peuvent l'amener à s'éloigner de cette évolution des conceptions pour adapter moment par moment les idées en fonction de contraintes. Ainsi, l'enfant peut même rejeter une conception pourtant dominante à ce moment de son développement, pour choisir une conception qui répond mieux au problème rencontré. L'évolution de ces conceptions au plan microgénétique ne suit alors plus l'évolution au plan ontogénétique. D'où une distinction importante entre développement et apprentissage. C'est ce qui ressort des deux échelles comparées au cours de ce chapitre. L'une met en avant le processus lent d'appropriation des conceptions et le passage de conceptions spontanées vers des conceptions scientifiques au cours de l'ontogenèse, tandis que l'autre met en avant des changements conceptuels dus à la résolution de problèmes en contexte, et à des processus constructifs qui poussent l'enfant à modifier ses conceptions pour des conceptions spontanées mais plus appropriées.

6.5.3 – La composition des groupes expérimentaux

Un classement des enfants en fonction du niveau de développement – L'utilisation du niveau modal de développement a été élaborée pour interpréter l'apparente régression conceptuelle des enfants. Pour de futurs travaux, cette méthode permet de classer les enfants et de composer des groupes expérimentaux homogènes. Pour la recherche présente, ces niveaux ont surtout permis de faire un choix sur la grille d'analyse des réponses des enfants. Dans la suite de la recherche, ce niveau de développement aurait pu constituer une nouvelle variable indépendante à côté de la condition expérimentale principale (condition DDD, DID, IDI et III). Cependant ce niveau n'a pas été contrôlé au départ en tant que variable. De plus, il a été constitué sur la base des justifications, alors que d'autres performances sont prises en compte par la suite qui peuvent être indépendantes de l'évolution des justifications (prédictions et explications générales). Un test de Kruskal-Wallis a été réalisé pour comparer la répartition des élèves dans les groupes expérimentaux selon leur niveau conceptuel. Ce test est non significatif (*ns*) : les groupes expérimentaux ne sont pas significativement différents quant aux niveaux initiaux représentés.

Résumé du chapitre 6

L'objectif premier de ce chapitre était de comparer nos résultats à ceux de Howe et al. (2005). En pré-test, les réponses de leurs participants sont légèrement supérieures en qualité conceptuelle. Ceci s'explique du fait que ces participants sont en moyenne plus âgés et entrent davantage dans la pensée formelle caractéristique de l'adolescence.

Le second objectif était de comparer l'évolution générale des justifications des enfants grâce à l'entraînement, par rapport à ceux de Howe et al. (2005). Un constat surprenant est apparu : nos participants régressent dans la façon de justifier les prédictions. Des analyses ont permis de préciser cet effet : cela n'a pas lieu pour les plus faibles qui progressent peu, mais a lieu pour les enfants qui ont déjà un bon niveau de conceptualisation. Après l'entraînement, ces enfants continuent d'étayer leurs justifications, mais avec des conceptions moins scientifiques. Il ne s'agit donc pas de niveau de développement mais de choix d'arguments. Alors, derrière l'effet du niveau de développement de l'enfant, se dresse l'ombre du chercheur et de ses moyens d'évaluer les réponses de l'enfant.

Pour comprendre les raisons de ce changement, les données ont été re-analysées, à l'aide d'une échelle inspirée des travaux d'Inhelder et Piaget (1955). Cette évaluation tient compte du fait que certaines conceptions, jugées erronées pour un adulte, peuvent être des avancées cognitives majeures du point de vue de l'enfant. En effet, certaines conceptions cachent ici un début de concept de densité des objets. C'est le cas de la notion de contenu de l'objet et du poids spécifique au matériau de l'objet. Cette nouvelle échelle des conceptions, basée sur une échelle plus fine du développement, montre une interprétation différente des données : à présent, les enfants qui ont les conceptions les plus avancées changent peu la qualité de leurs conceptions, tandis que les plus faibles progressent. Cette échelle rend donc compte d'un apprentissage.

Enfin, ces analyses donnent une nouvelle interprétation aux études précédentes. Diverses études ont montré que l'enfant progresse dans ses conceptions si on l'évalue avec une échelle plutôt *conventionnelle* de l'articulation des concepts. Comment ces études ont-elles pu présenter des progrès cognitifs si l'échelle est contestable ? Le contexte est souvent étroitement contrôlé par l'adulte, notamment au niveau des sources matérielles de contradiction. La méthodologie adoptée met au contraire l'accent sur la construction des idées de l'enfant, par sa confrontation à un univers physique complexe, qui met régulièrement à mal les conceptions déjà élaborées. Ce contexte instrumental, dont l'enfant peut user de manière autonome, pourrait entraîner des contradictions qui obligent à modifier les conceptions. Dans cet univers enrichi, moins contraint par l'idéologie scientifique, le changement cognitif n'intervient pas dans le sens attendu par le tuteur. L'enfant élabore de manière active, des conceptions extrêmement originales, pour adapter ses concepts spontanés à la complexité du monde.

CHAPITRE 7 – LES CONSEQUENCES DU TRAVAIL SOLITAIRE ET COLLECTIF DE PRE- A POST-TEST

La combinaison de temps collaboratifs et solitaires de travail a-t-elle des effets cognitifs ? Trois performances des élèves sont suivies, comme autant d'indications de leurs évolutions cognitives : la prédiction de la flottaison d'objets, la justification des prédictions, et l'explication générale du phénomène. Cette diversité de mesures permet d'explorer quels types d'évolution cognitive sont provoqués chez les participants par un entraînement solitaire et collectif. Les analyses statistiques effectuées dans ce chapitre sont détaillées en annexes (voir Annexe O).

7.1 – L'évolution des prédictions des enfants

La prédiction de la flottaison des objets se développe précocement et avoisine rapidement les capacités de l'adulte (Kohn, 1993). Dans l'étude présente, six objets concrets sont confiés en pré- et post-tests. La justesse des prédictions faites sur ces objets est évaluée à l'aide du score PR. Nous supposons que l'articulation de situations collaboratives et individuelles favorise le développement de cette performance (Hypothèse H1).

7.1.1 – L'évolution de la compétence de prédiction du groupe IDI de pré- à post-test

L'évolution contrastée des prédictions de pré-test à post-test – Pour comparer l'évolution des groupes dans le score PR, une analyse de variance à plan mixte ou ANOVA mixte 3 (temps) × 4 (type d'entraînement) est effectuée.
• Cette analyse n'indique pas d'effet principal du temps (*ns*) ou du groupe expérimental (*ns*).
• Il y a un effet d'interaction entre les facteurs temps et groupe expérimental, $F(6, 204) = 2{,}255$, $p = .040$, $\eta_p^2 = .062$. Les analyses suivantes précisent la nature des évolutions de chaque groupe expérimental et permettent de localiser les différences possibles entre ces groupes.

L'évolution dans chaque groupe des prédictions de pré-test à post-tests – Une analyse de variance répétée ou ANOVA répétée est effectuée pour chaque groupe afin de suivre pour chacun d'eux l'évolution du score PR.
• Il n'y a pas d'évolution particulière du score PR au sein des groupes DDD, DID et III (*ns*).
• Il y a une évolution significative du score PR pour le groupe IDI, $F(2, 50) = 6{,}088$, $p = 004$, $\eta_p^2 = .196$. Les analyses post hoc montrent une progression significative entre post-test immédiat ($M = 4{,}15$; $SD = 1{,}38$) et différé ($M = 4{,}84$; $SD = 0{,}73$) (Bonferroni, $p = .034$) ; il résulte une progression significative de pré-test ($M = 3{,}88$; $SD = 1{,}39$) à post-test différé ($p = .007$). Le groupe IDI se démarque des autres groupes en progressant dans la justesse des prédictions.

La comparaison à chaque moment du score PR selon le groupe – Une analyse de variance simple ou ANOVA simple est effectuée afin de comparer la justesse des prédictions selon les groupes à chaque temps de pré- ou post-test.

• Il n'y a pas de différence significative en pré-test (*ns*). Les enfants ont donc des compétences prédictives comparables : initialement, ils font en moyenne 72% de prédictions justes.

• Il n'y a pas de différence significative en post-test immédiat (*ns*).

• Il y a une différence sensible entre les groupes en post-test différé mais qui n'est que tendancielle (p = .067).

Les enfants du groupe IDI évoluent donc différemment des autres participants des trois autres conditions, mais atteignent au final une performance de prédiction qui n'est que sensiblement supérieure à celle des autres enfants (voir Tableau 16 et Figure 9).

Tableau 16 – Nombre moyen (écart type) de prédictions correctes (PR) par groupe expérimental et en fonction du temps de pré- ou post-tests

Groupe	Temps						
	Pré-test		Post-test immédiat			Post-test différé	
DDD	4,643	(1,026)	4,321	(1,219)		4,321	(1,156)
DID	4,461	(1,208)	4,231	(0,992)		4,154	(0,925)
IDI	3,885	(1,395)	4,154	(1,377)	→ *	4,846	(0,732)
III	4,269	(1,079)	4,269	(1,185)		4,385	(0,983)
Total	4,352	(1,185)	4,246	(1,186)		4,424	(0,985)

Note. * p < .05.

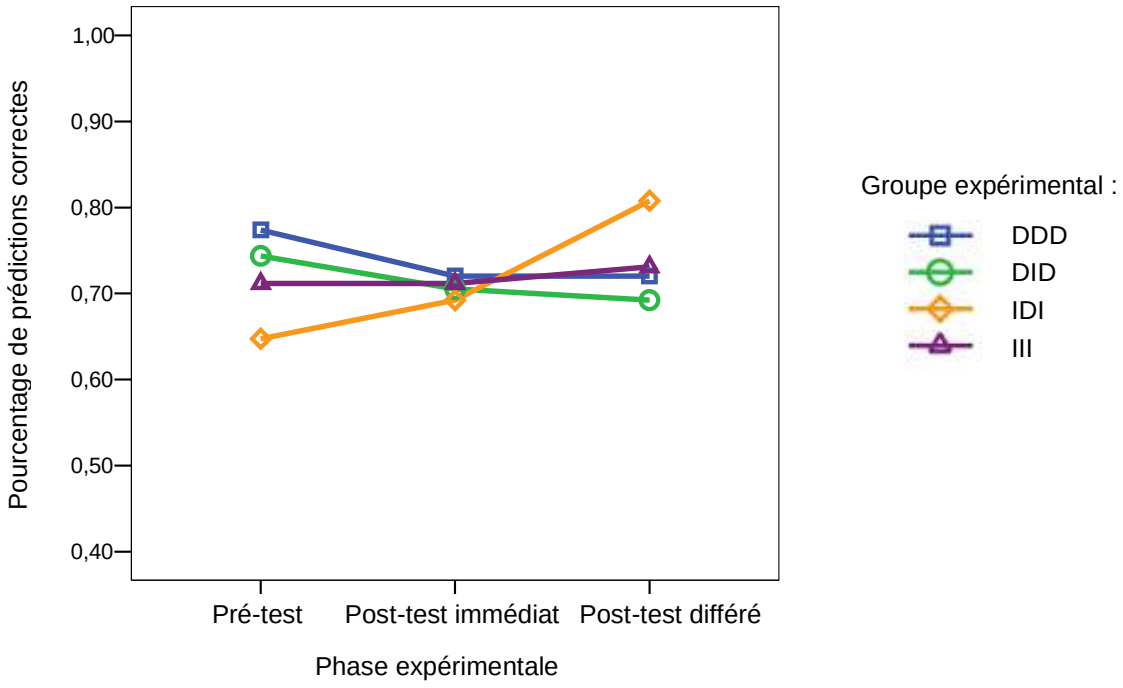


Figure 9 – Evolution en pourcentage du nombre de prédictions correctes par groupe expérimental et en fonction du temps de pré- ou post-tests

De nombreux enfants du groupe IDI progressent en prédiction – L'évolution du score PR dépend du groupe expérimental. Une dernière analyse permet de comparer les proportions

d'enfants qui progressent, régressent ou n'évoluent pas en justesse de prédiction, selon le groupe expérimental. Le test de Chi2 d'adéquation indique si la répartition des trois types d'évolutions possibles est inégale. De pré-test à post-test immédiat, aucun des groupes ne présente de répartition différente des types d'évolution (*ns*). De pré-test à post-test différé, le test de Chi2 d'adéquation n'indique pas de répartition inégale entre les trois types d'évolution dans les groupes DDD, DID et III (*ns*). En revanche, il y a une répartition différente et de taille d'effet importante pour le groupe IDI, $\chi 2(6, 26) = 11{,}385$; $p = .003$, $V_{de\ Cramer} = .468$: une large proportion d'enfants ont progressé et peu d'enfants ont régressé (voir Figure 10).

Tableau 17 – Nombre d'enfants dont le score PR régresse, progresse ou stagne de pré-test à post-test en fonction du groupe

Groupe	N	Pré-test à post-test immédiat			Pré-test à post-test différé			
		Régresse	Stagne	Progresse	Régresse	Stagne	Progresse	
DDD	28	14	7	7	9	12	7	
DID	26	11	7	8	14	6	6	
IDI	26	11	4	11	2	8	16	*
III	26	10	9	7	12	4	10	
Total	106	46	27	33	37	30	39	

Notes. * $p < .05$; N = nombre d'individus du groupe expérimental ; Régresse = Nombre et pourcentage d'individus dont le score PR régresse ; Stagne = Nombre et pourcentage d'individus dont le score PR est constant ; Progresse = Nombre et pourcentage d'individus dont le score PR progresse.

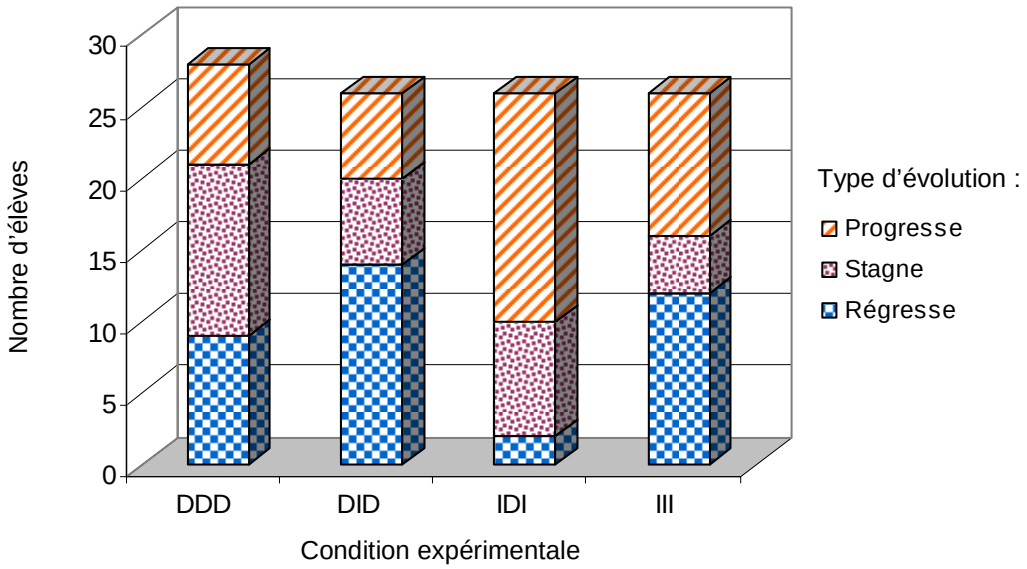


Figure 10 – Nombre d'élèves dont la justesse des prédictions régresse, stagne ou progresse de pré-test à post-test différé et par condition expérimentale

7.1.2 – Conclusion sur les prédictions des enfants (hypothèse H1)

L'hypothèse H1 est confirmée – Les entraînements ont des conséquences différentes sur les prédictions. Pour l'ensemble des participants, il y a une large proportion de prédictions correctes à tout moment. Cependant, les enfants du groupe IDI progressent sensiblement, ce qui

est assez remarquable car ces prédictions sont très tôt majoritairement correctes (Kohn, 1993). L'entraînement a amélioré cette précision des prédictions, mais dans la condition IDI seulement, pour les enfants qui ont bénéficié d'un entraînement solitaire, puis collectif, puis solitaire. Cette différence n'apparaît qu'après coup, après plusieurs semaines. L'hypothèse H1 est confirmée, pour ce groupe alternant. Pour expliquer ce résultat, il faut d'abord écarter d'autres explications : ces enfants ne progressent pas du fait d'avoir eu un entraînement collectif, puisque les enfants de la condition DDD ne progressent pas ; il ne s'agit pas du fait d'un entraînement individuel, puisque les enfants de la condition III ne progressent pas non plus. On peut supposer que ces enfants ont bénéficié de deux entraînements différents, individuel et collectif. Cependant la simple association du travail individuel et du travail collectif ne peut pas expliquer cet effet, car les enfants du groupe DID, qui ont eux aussi un entraînement alternant ces situations, n'ont pas évolué en prédiction. Il ne s'agit pas seulement de travailler seul et à deux. Un agencement spécifique des étapes individuelles et collectives d'entraînement a participé en post-test différé à des améliorations de la justesse des prédictions. Les chapitres suivants ont pour mission d'éclairer cet effet (voir chapitre 8 et 9).

7.1.3 – Certains types d'objets favorisent les prédictions ou posent des difficultés ?

Analyses supplémentaires sur les propriétés physiques des objets – Les prédictions dépendent des caractéristiques physiques des objets. Par exemple, prédire correctement si une pomme et un petit flacon coulent est difficile (taux de prédictions correctes en pré-test <25%) par rapport à un morceau de bois ou une bouteille vide (>95%). À notre connaissance, aucune étude n'a étudié comment des enfants prédisent la flottaison d'objets courants, en fonction de caractéristiques physiques hétérogènes. On se demande notamment si les prédictions sont basées sur des caractéristiques attendues de la théorie physique (masse, volume et densité) et non sur d'autres caractéristiques (la matière par exemple). Nous avons mené un certain nombre d'analyses en fonction des caractéristiques des objets : masse, volume, densité, et matériau. Ces analyses 636 prédictions réalisées en pré-test sur des objets concrets ne sont pas détaillées dans cette thèse. Elles indiquent que les prédictions des enfants pourraient être fondées à la fois sur le matériau, la masse et la densité de l'objet. En revanche, il semblerait que les enfants ont parfois des difficultés à s'appuyer sur certaines caractéristiques pour faire des prédictions correctes : c'est le cas si l'objet est constitué d'un matériau plus difficile à identifier, comme une gomme ou un élastique, et lorsque l'objet est peu dense. De plus, les deux réactions physiques, flotte et coule, pourraient ne pas être prédites à l'aide des mêmes catégories physiques. Ces résultats préfigurent de futures recherches systématiques sur les prédictions des enfants avec des objets courants et hétérogènes. Il n'existe pas à notre connaissance d'étude dans ce type de contexte.

7.2 – L'évolution des justifications des prédictions

L'enfant peut montrer ses conceptions en justifiant ses prédictions. Avec cette performance, l'enfant décrit un fonctionnement physique dans des circonstances particulières. Les justifications peuvent donc se baser sur des raisons hétérogènes, et qui diffèrent de l'explication générale. Par exemple, l'enfant peut avoir l'idée générale que les objets plus lourds que l'eau coulent, mais justifier qu'un trombone coulera parce qu'il est rigide ou qu'une balle flottera parce qu'elle est en

plastique. Contrairement à la prédiction et à l'explication générale, les enfants ne sont pas contraints à s'entraîner à justifier : l'entraînement porte sur la production de prédiction et d'explications générales. Cette évaluation nouvelle par rapport aux activités de l'entraînement, permet alors de savoir si cet entraînement a des répercussions sur la manière dont l'enfant conçoit des faits particuliers. Nous supposons que l'articulation de situations collaboratives et individuelles favorise le développement du nombre d'arguments des justifications (Hypothèse H2) et de leur qualité conceptuelle (Hypothèse H3).

7.2.1 – L'évolution du nombre d'arguments dans les justifications (score FT)

Le score FT évolue différemment selon les groupes – Une ANOVA à plan mixte 3 (temps) x 4 (groupe expérimental) a été réalisée pour comparer l'évolution du nombre de facteurs cités dans les justifications[1] :

• Il y a un effet principal du temps sur le nombre d'arguments fournis par l'ensemble des participants, $F(1{,}859, 189{,}581) = 6{,}570$, $p = 002$, $\eta_p^2 = .062$. Les analyses post hoc indiquent en effet une régression significative de pré-test ($M = 14{,}19$; $SD = 3{,}95$) à post-test immédiat ($M = 12{,}91$; $SD = 4{,}22$) (Bonferroni, $p = .001$). Il y a également une progression générale du nombre d'arguments cités de post-test immédiat à post-test différé ($M = 13{,}88$; $SD = 4{,}56$) ($p = .009$). Suite à l'entraînement, les enfants citent moins de variables, bien qu'ils développent à nouveau ce nombre en post-test différé.

• Il n'y a pas d'effet principal du groupe expérimental (n.s).

• Il y a un effet d'interaction significatif entre les groupes et le temps, $F(5{,}576, 188{,}581) = 3{,}720$, $p = 002$, $\eta_p^2 = .099$. Le nombre d'arguments utilisés dans les justifications évolue différemment selon les groupes expérimentaux. Les analyses suivantes précisent cet effet.

Le score FT progresse dans le groupe DDD – Une ANOVA répétée est effectuée pour chaque groupe expérimental pour suivre l'évolution spécifique du score FT.

• Il y a une évolution significative du score FT pour le groupe DDD, $F(2, 54) = 4{,}607$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .146$. Les analyses post hoc indiquent une évolution significative de pré-test ($M = 13{,}71$; $SD = 3{,}63$) à post-test différé ($M = 15{,}86$; $SD = 3{,}82$) (Bonferroni, $p = .041$). En effet, le nombre d'arguments progresse particulièrement entre post-test immédiat ($M = 14{,}32$; $SD = 4{,}01$) et post-test différé ($p = .041$).

• Il y a une évolution significative du score FT pour le groupe DID, $F(2, 50) = 10{,}545$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .297$. Les analyses post hoc indiquent une régression significative de pré-test ($M = 14{,}65$; $SD = 3{,}79$) à post-test immédiat ($M = 11{,}50$; $SD = 4{,}48$) (Bonferroni, $p = .001$). Cette régression se retrouve ensuite de pré-test à post-test différé ($M = 12{,}27$; $SD = 4{,}38$) ($p = .024$).

• Il n'y a pas d'évolution significative du score FT pour les groupes IDI et III, *ns*.

Les évolutions sont différentes en fonction du groupe expérimental. Les enfants du groupe DDD voient le nombre de facteurs progresser. Cependant cette évolution se produit après-coup, quelques semaines après le post-test immédiat. Au contraire, dès le post-test immédiat les enfants du groupe DID utilisent moins d'arguments dans les justifications.

Différence du score FT entre les groupes à chaque temps – Une ANOVA simple permet de comparer le nombre d'arguments cités par les groupes à chaque moment d l'expérimentation.

[1] Le test de sphéricité est significatif, $\chi 2 = 13{,}600$, $p = .001$, $\varepsilon = .929$; on applique la correction de Huynh-Feldt.

• Il n'y a pas de différence significative en pré-test, *ns*. Les scores des groupes sont proches.
• Il n'y a pas de différence significative en post-test immédiat, *ns*. Les différences apparentes, avec une baisse du score FT pour le groupe DID, ne sont pas significatives.
• Il y a une différence significative du score FT en post-test différé, $F(3, 105) = 3{,}084$, $p = .031$, $\eta_p^2 = .083$. Cette différence est importante entre les groupes DDD et DID (Scheffé, $p = .036$).
Suite à l'entraînement, il y a une régression du nombre de facteurs cités dans le groupe DID. Cependant ce score ne diffère des autres groupes qu'après coup. En post-test différé, il y a une différence entre le groupe DDD qui a progressé et le groupe DID qui a régressé.

Tableau 18 – Nombre moyen (écart type) de facteurs utilisés dans les justifications (score FT) en fonction du groupe et du temps

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	13,71 (3,63)	14,32 (4,01)	15,86 (3,82)
DID	14,65 (3,79)	11,50 (4,48)	12,27 (4,38)
IDI	14,27 (4,21)	12,96 (4,49)	13,50 (5,24)
III	14,15 (4,34)	12,73 (3,60)	13,73 (4,19)
Total	14,19 (3,95)	12,91 (4,22)	13,88 (4,56)

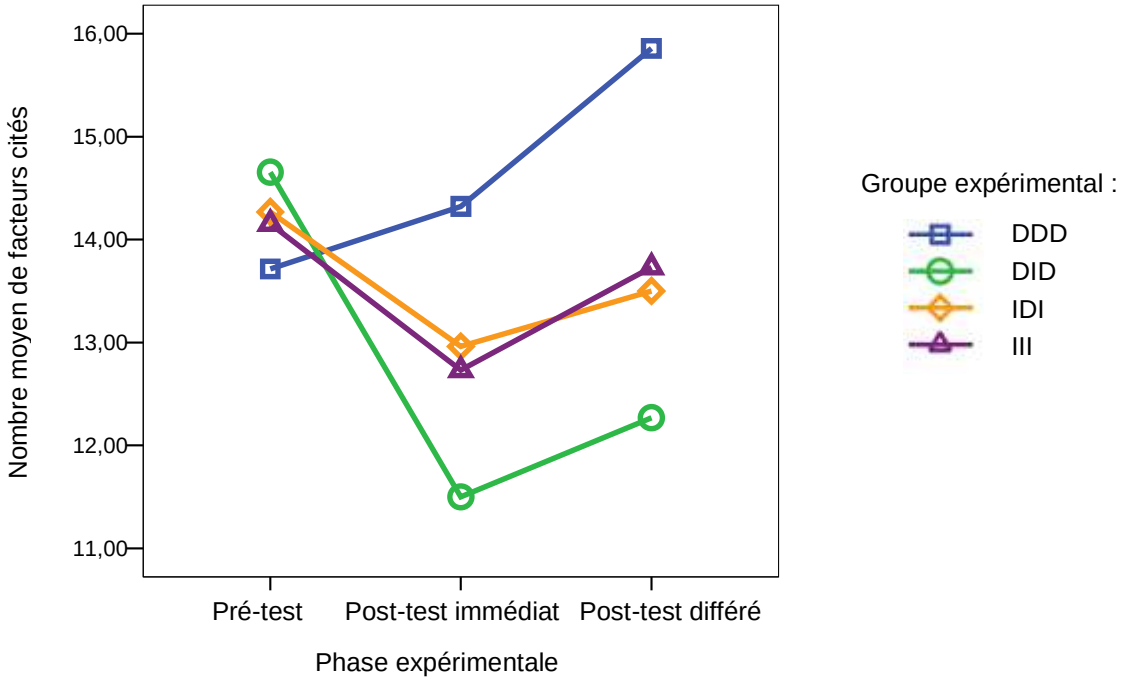


Figure 11 – Evolution du score FT en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

Le nombre d'enfants qui progressent au score FT est plus important pour le groupe DDD – On peut également mesurer les évolutions en termes d'effectifs. Un test de Chi2 permet de distinguer s'il y a plus d'enfants dans un groupe que dans les autres qui progressent, régressent ou stagnent au niveau du score FT :
• de pré- à post-test immédiat, il n'y a pas de différence significative entre les groupes, *ns*.
• entre pré-test et post-test différé, il y a une différence significative entre les groupes, $\chi 2(3, N = 106) = 9{,}715$, $p = .021$, $V_{Cramer} = .21$. Des tests du signe pour chaque groupe entre pré-test et post-

test différé indiquent au sein du groupe DDD qu'il y a plus d'enfants qui progressent (N = 20) que non (*N* = 8), *Z* = 2,309 ; *p* = .021 ; *r* = .44 ; il n'y a pas de différence significative dans les autres groupes expérimentaux, *ns*.
Davantage d'enfants du groupe DDD progressent dans le score FT de pré-test à post-test différé que dans les autres conditions (voir Tableau 19).

Tableau 19 – Nombre (et pourcentage) d'élèves dont le score FT régresse, stagne ou régresse de pré- à post-test par groupe

Groupe	N	Pré-test à post-test immédiat			Pré-test à post-test différé *			
		Régresse	Stagne	Progresse	Régresse	Stagne	Progresse	
DDD	28	*14* (50%)	*2* (7%)	*12* (43%)	*7* (25%)	*1* (4%)	*20* (71%)	*
DID	26	*19* (73%)	*3* (12%)	*4* (15%)	*10* (62%)	*3* (12%)	*7* (27%)	
IDI	26	*14* (54%)	*6* (23%)	*6* (24%)	*4* (50%)	*0* (0%)	*13* (50%)	
III	26	*15* (58%)	*2* (8%)	*9* (35%)	*6* (38%)	*4* (15%)	*12* (54%)	
Total	106	*62* (58%)	*13* (12%)	*31* (29%)	*28* (43%)	*8* (8%)	*52* (49%)	

Notes. * *p* < .05 ; N = nombre d'individus ; Régresse = Nombre et pourcentage d'individus dont le score FT régresse ; Stagne = Nombre et pourcentage d'individus dont le score FT est constant ; Progresse = Nombre et pourcentage d'individus dont le score FT progresse.

Conclusion sur le nombre de facteurs cités dans les justifications (score FT) – Il y a un effet de l'entraînement collaboratif répété, sur la production d'arguments pour justifier les prédictions. Seuls les enfants ayant eu un entraînement collaboratif répété (groupe DDD) ont progressé dans le nombre de facteurs qu'ils écrivent pour justifier leurs prédictions individuelles. Ce progrès intervient un certain temps après l'entraînement. On peut supposer qu'ils ont développé une certaine richesse des arguments pour justifier des faits particuliers. Or ces enfants ont notamment dû se mettre d'accord régulièrement dans les prédictions qu'ils effectuent durant l'entraînement en dyade. Ils ont donc peut-être appris que divers arguments pouvaient justifier la flottaison d'objets. Le travail collaboratif aurait donc favorisé cet apprentissage. Pourtant de nombreux enfants du groupe DID ont régressé dès le post-test immédiat dans la quantité de facteurs qu'ils citent. Ces enfants ont eu l'occasion de s'entraîner en dyade durant l'entraînement, et ont dû se coordonner comme les enfants du groupe DDD, et sans doute confronter des points de vue divers. Finalement ni les enfants du groupe IDI ni ceux du groupe DID ne progressent dans le score FT. **L'hypothèse H3 n'est pas validée**.

7.2.2 – L'évolution conceptuelle des justifications (score CL)

Evolution du score CL en fonction du groupe et du temps – Le score CL est un indicateur de la qualité des conceptions des enfants. Une ANOVA à plan mixte 3 (temps) x 4 (groupe expérimental) a été réalisée[2].
• Il y a un effet principal du temps sur le score CL, $F(1{,}924, 196{,}256) = 4{,}290$, $p = .016$, $\eta_p^2 = .040$. Les analyses post hoc indiquent une régression générale significative de pré-test (*M* = 35,07 ; *SD* = 7,04) à post-test immédiat (*M* = 33,39 ; *SD* = 7,64) (Bonferroni, *p* = .037) et une progression significative de post-test immédiat à post-test différé (*M* = 34,97 ; *SD* = 7,54) (*p* =

[2] Le test de sphéricité est significatif, $\chi 2 = 9{,}385$, $p = .009$, $\varepsilon = 962$; on applique la correction de Huynh-Feldt.

.016). Suite à l'entraînement, les enfants donnent généralement des justifications de moins bon niveau conceptuel. Cependant cet effet est qualifié par un effet d'interaction.

• Il n'y a pas d'effet principal du groupe expérimental (n.s).

• Il y a un effet d'interaction entre le groupe et le temps, $F(5{,}772, 196{,}256) = 3{,}022$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .082$. Les analyses suivantes permettent de préciser cet effet d'interaction (voir Tableau 20).

Tableau 20 – Moyenne (écart type) du score conceptuel CL des justifications en pré- et post-tests selon le groupe expérimental.

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	34,43 (7,28)	36,18 (6,02)	37,86 (5,39)
DID	35,30 (6,53)	30,42 (8,21)	32,35 (7,46)
IDI	35,38 (6,63)	32,88 (8,24)	33,88 (8,79)
III	35,19 (8,00)	33,85 (7,24)	35,58 (7,52)
Total	35,06 (7,04)	33,39 (7,64)	34,97 (7,54)

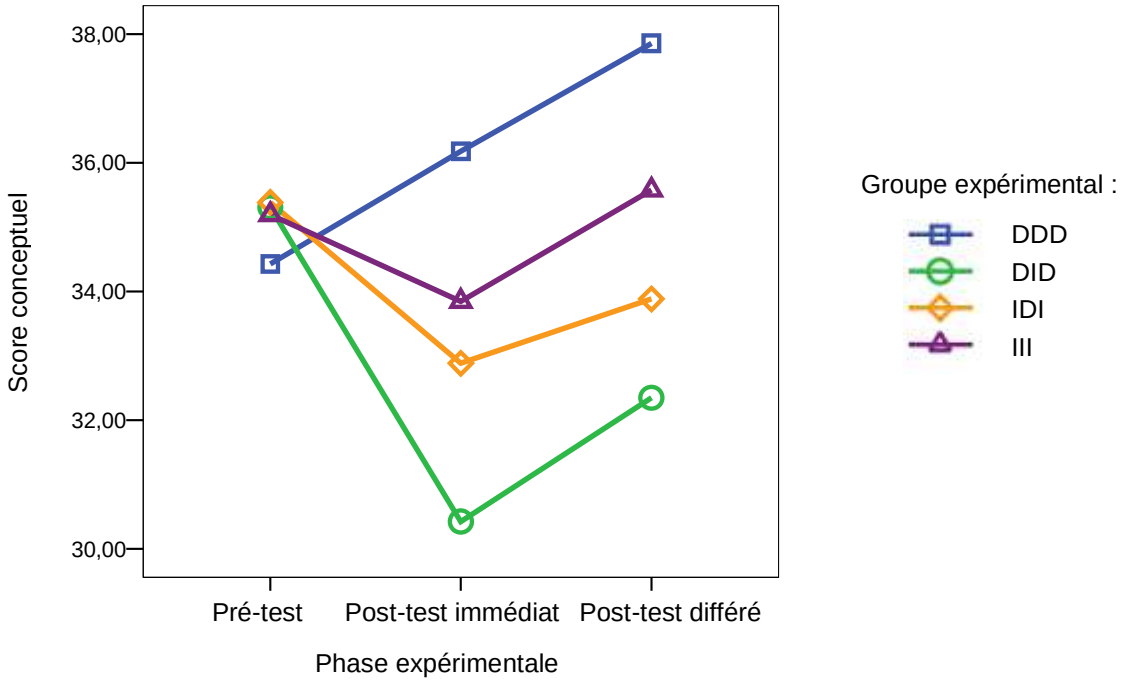


Figure 12 – Evolution du score CL en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

L'évolution du score CL au sein de chaque groupe expérimental – Des ANOVA répétées permettent de suivre l'évolution du score CL au sein de chaque groupe expérimental.

• Il y a une évolution significative du score CL au sein du groupe DDD, $F(2, 54) = 3{,}889$, $p = .026$, $\eta_p^2 = .126$. Les analyses post hoc permettent en effet de constater une progression, quoi que limitée du score CL de pré-test ($M = 34{,}43$; $SD = 7{,}28$) à post-test différé ($M = 37{,}86$; $SD = 5{,}39$) (Bonferroni, $p = .054$).

• Il y a une évolution significative du score CL au sein du groupe DID, $F(2, 50) = 5{,}397$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .178$. Les analyses post hoc permettent en effet de constater une régression significative de pré-test ($M = 35{,}30$; $SD = 6{,}53$) à post-test immédiat ($M = 30{,}42$; $SD = 8{,}21$) (Bonferroni, $p = .013$).

• Il n'y a pas d'évolution significative au sein des groupes IDI (n.s) ou III (n.s).

Comparaison temps par temps des scores des groupes expérimentaux – A chaque temps d'évaluation, les scores des groupes expérimentaux ont été comparés.
• Une ANOVA simple en pré-test pas de différence (*ns*).
• Il y a une différence significative en post-test immédiat, $F(3, 105) = 2{,}749$; $p = .047$, $\eta_p^2 = .075$: le score des groupes DDD et DID diffère donc après entraînement (Scheffé, $p = .051$).
• Il y a une différence significative en post-test différé, $F(3, 105) = 2{,}785$; $p = .045$, $\eta_p^2 = .076$: pourtant le score des groupes DDD et DID diffère peu (Scheffé, $p = .062$).
En post-test immédiat notamment, il y a une différence remarquable entre le score Cl du groupe DDD qui a progressé et celui du groupe DID.

Conclusion sur l'évolution de la qualité des justifications – Il y a une progression des conceptions mobilisées dans les justifications dans le groupe DDD suite à l'entraînement. A l'opposé, les enfants du groupe DID, ont subi temporairement une baisse de la qualité conceptuelle des justifications juste après l'entraînement. **L'hypothèse H2 n'est pas validée**.

7.2.3 – L'évolution du niveau modal des justifications

A propos du niveau modal des justifications – Le niveau modal de justification permet d'estimer le développement conceptuel des justifications de chaque enfant. Il définit plus précisément le niveau de conception de l'enfant dans ses justifications que le score CL. Cet indicateur est cependant moins pratique pour les analyses statistiques, car il nécessite des analyses non paramétriques dans un design expérimental mixte. Quelques analyses ont été effectuées cependant, qui confirment les résultats obtenus avec le score CL (Ces analyses ne sont pas présentées pour cette thèse).

Le niveau modal des justifications en pré-test – En pré-test, la répartition des élèves en niveaux modaux est similaire entre les groupes expérimentaux. Les enfants sont majoritairement de niveau IIB : lorsqu'ils justifient qu'un objet devrait flotter ou couler, ils ont tendance à citer la masse, ou la matière, ou encore la taille de l'objet ou la quantité d'eau. Les enfants utiliseraient donc peu les préconceptions de la densité pour justifier que certains objets flottent ou coulent. Une importante proportion d'élèves sont ensuite de niveau IIB+, puis IIIA : leurs justifications comprennent alors des préconceptions ou des conceptions de la densité des objets, en citant le contenu de l'objet, ou bien simultanément la masse et la matière de l'objet (voir Tableau 21).

Une évolution du niveau des justifications dans le groupe DDD – De pré-test à post-test immédiat ou différé, il y a autant d'enfants qui progressent et qui régressent (*ns*). L'entraînement ne semble pas globalement favoriser des progrès cognitifs. Il n'y a ainsi pas de changement majeur entre pré-test et post-test pour les groupes DID, IDI ou III. En revanche, il y a une progression importante du niveau modal des élèves du groupe DDD entre pré-test et post-test différé : 11 élèves progressent, tandis que 2 élèves régressent et que 15 autres conservent leur niveau. En particulier, 6 élèves passent du niveau IIB au niveau intermédiaire entre IIB et IIIA : ils mobilisent parfois des préconceptions de la densité. De plus, 3 élèves parviennent au niveau 3A, ce qui indique qu'ils citent de manière récurrente des préconceptions de la densité. Le résultat précédent est donc confirmé ici par le nombre d'enfants qui progressent.

Tableau 21 – Nombre d'élèves par niveau modal des justifications en fonction du groupe expérimental et du temps

Groupe		Niveau modal											N
		0	0+	I	I+	IIA	IIA+	IIB	IIB+	IIIA	IIIA+	IIIB	
Pré-test	DDD	2	0	0	0	0	0	12	10	4	0	0	28
	DID	0	0	0	1	0	0	13	8	3	0	1	26
	IDI	1	0	0	0	1	0	10	10	3	0	1	26
	III	1	0	1	0	0	1	11	4	7	1	0	26
	Total	4	0	1	1	1	1	46	32	17	1	4	106
Post-test immédiat	DDD	0	0	1	0	0	0	9	9	9	0	0	28
	DID	2	1	1	0	0	0	10	9	2	1	0	26
	IDI	2	0	2	0	0	1	9	5	6	0	1	26
	III	2	0	1	0	0	1	9	8	4	0	1	26
	Total	6	1	5	0	0	2	37	31	21	1	2	106
Post-test différé	DDD	0	0	0	0	0	0	7	14	6	0	1	28
	DID	2	0	1	0	0	0	13	9	1	0	0	26
	IDI	1	0	2	0	0	0	9	8	5	0	1	26
	III	1	0	2	0	0	0	12	7	2	1	1	26
	Total	4	0	5	0	0	0	41	38	14	1	3	106

Note. N = nombre d'individus.

7.2.4 – Les facteurs utilisés dans les justifications

Les facteurs utilisés – Cette section apporte permet de mieux connaître les facteurs. Les variables les plus courantes sont la masse, la matière et le contenu de l'objet.

L'argument de la matière de l'objet progresse pour le groupe DDD – L'argument de la matière de l'objet est fréquent dans les justifications en pré-test (35% des justifications) en post-test immédiat (31%) ou différé (36%). Cet argument semble avoir légèrement diminué après l'entraînement. Le facteur de la matière n'évolue pas pour les groupes DID, IDI et III. Par contre, il progresse sensiblement au sein du groupe DDD de pré-test (M = 3,93 ; SD = 3,02) à post-test différé (M = 5,35 ; SD = 2,31). L'argument de la matière demeure fréquemment cité en justifications par les enfants de tous les groupes. Seuls ceux du groupe DDD semblent l'utiliser davantage (Voir Tableau 22, Figure 13).

Tableau 22 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « matière » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	3,93 (3,02)	4,82 (2,40)	5,35 (2,31)
DID	4,92 (3,16)	3,69 (3,04)	4,35 (3,50)
IDI	3,77 (2,66)	2,92 (2,35)	3,15 (2,78)
III	4,27 (3,87)	3,27 (2,74)	4,12 (3,13)
Total	4,21 (3,19)	3,70 (2,71)	4,26 (3,02)

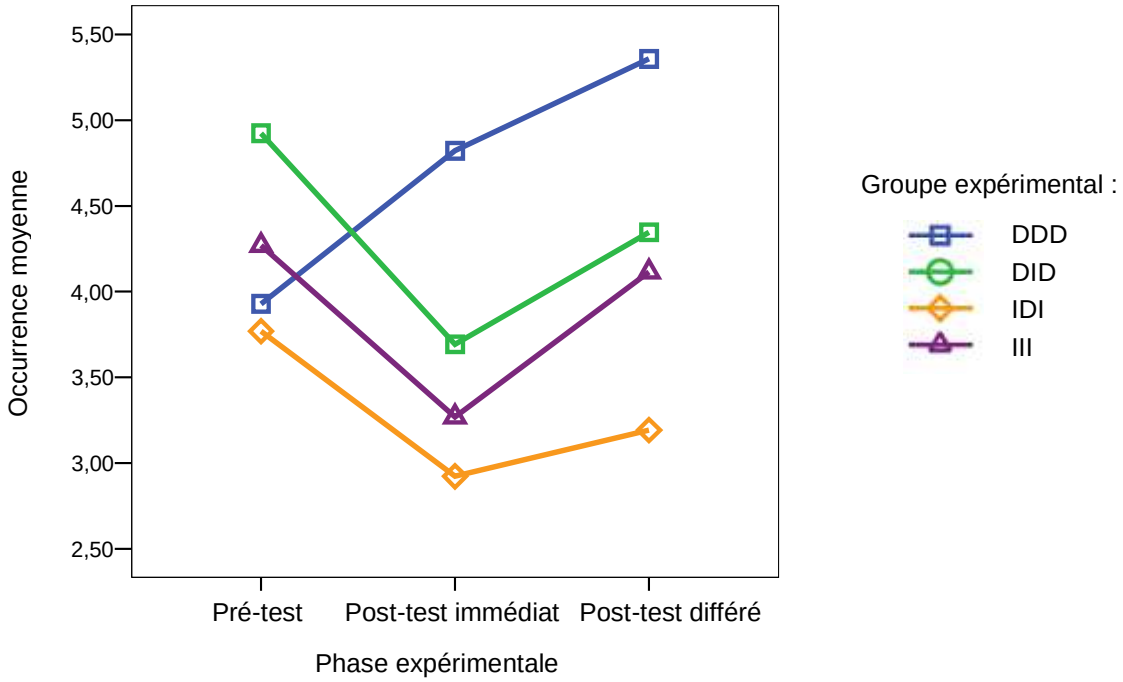


Figure 13 – Nombre d'utilisation moyenne du facteur matière dans les justifications en fonction du groupe expérimental de pré- et post-tests

L'argument du contenu de l'objet progresse – L'argument du contenu de l'objet est fréquent en pré-test (20% des justifications), en post-test immédiat (25%) ou différé (23%).Il y a seulement une progression générale de cet argument de pré-test (*M* = 2,42 ; *SD* = 2,33) à post-test immédiat (*M* = 3,01 ; *SD* = 2,56). L'entraînement favorise donc généralement l'utilisation de l'argument du contenu de l'objet (voir Tableau 23).

Tableau 23 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « contenu » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	2,46 (2,20)	3,54 (2,66)	3,11 (2,75)
DID	2,31 (2,11)	2,23 (1,73)	2,23 (1,84)
IDI	2,58 (2,55)	3,08 (2,90)	2,92 (3,05)
III	2,31 (2,57)	3,15 (2,75)	2,92 (2,62)
Total	2,42 (2,33)	3,01 (2,56)	2,80 (2,59)

L'argument de la masse de l'objet régresse – L'argument de la masse des objets est fréquent en pré-test (42% des justifications), en post-test immédiat (33%) ou différé (36%). Il y a seulement une régression de cet argument de pré-test (*M* = 5,05 ; *SD* = 2,97). à post-test immédiat (*M* = 3,92 ; *SD* = 2,74), et qui se maintient en post-test différé (*M* = 4,34 ; *SD* = 2,91). L'entraînement oriente généralement les enfants vers l'évacuation de ce facteur de la masse des objets pour justifier les prédictions. Cet effet perdure (voir Tableau 24).

Tableau 24 – Occurrence moyenne (écart type) de la variable « masse » dans les justifications de pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	5,00 (2,55)	4,04 (2,82)	4,71 (2,43)
DID	4,54 (2,98)	3,46 (2,61)	3,62 (3,06)
IDI	5,50 (3,22)	3,88 (2,85)	4,85 (3,41)
III	5,15 (3,21)	4,27 (2,76)	4,15 (2,65)
Total	5,05 (2,97)	3,92 (2,74)	4,34 (2,91)

Conclusion sur l'évolution des arguments – L'analyse des arguments permet de mieux comprendre l'évolution conceptuelle des justifications. Parmi les arguments les plus utilisés en pré- et post-tests, on trouve la matière, le contenu et la masse de l'objet (voir Figure 14). L'argument du contenu est généralement renforcé après l'entraînement. L'argument de la matière tend à se renforcer dans le groupe DDD. L'argument de la masse diminue en revanche fortement dans l'ensemble des groupes. Cette diminution générale pourrait pointer une difficulté rencontrée par les enfants. En effet, la masse est pour le physicien une composante de la densité des objets. Or les enfants semblent se détourner de ce facteur pour justifier qu'un objet flotte ou coule.

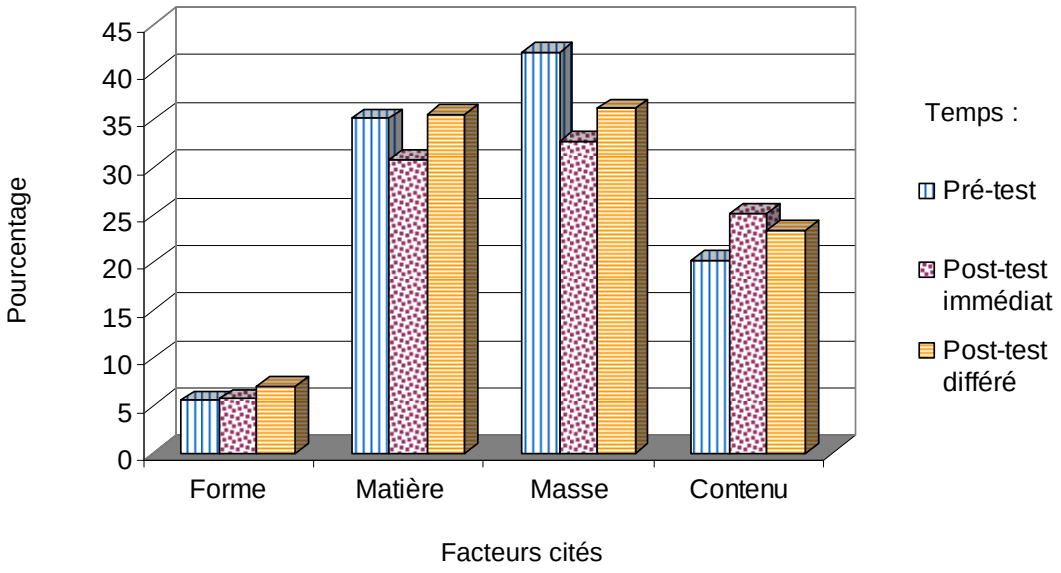


Figure 14 – Fréquence des principaux arguments dans les justifications en pré- et post-test

7.2.5 – Conclusion sur les justifications des enfants (hypothèses H2 et H3)

L'évolution des facteurs physique dans les justifications – Le nombre de facteurs utilisés dans les justifications augmente pour les enfants du groupe DDD, se maintient pour les enfants du groupe IDI et III, et diminue pour les enfants du groupe DID. **L'hypothèse H2 n'est pas validée.** De manière générale, l'argument de la masse disparaît des justifications, tandis que celui du contenu progresse. La conséquence au niveau conceptuel, est que les enfants du groupe DDD progressent légèrement dans la qualité des justifications fournies, tandis que ceux du groupe DID régressent. L'articulation particulière des situations collaboratives, puis individuelles puis

collaboratives a produit ici un effet négatif, inattendu. **L'hypothèse H3 n'est pas validée.** L'entraînement a permis aux enfants du groupe DDD d'accumuler des facteurs afin de justifier leurs prédictions. Cependant, il est difficile de dire que l'enrichissement de ce répertoire d'arguments ait permis une synthèse conceptuelle nouvelle, où les enfants auraient tiré la leçon de l'entraînement en s'orientant vers de meilleures conceptions. Enfin, un effet intéressant pour la suite a été repéré : les enfants utilisent beaucoup moins la variable de la masse de l'objet après l'entraînement et préfèrent alors citer davantage le contenu de l'objet.

7.3 – L'évolution des explications générales

Expliquer de manière générale implique de raisonner sur des ensembles abstraits d'objets (par exemple : les objets flottants…). L'enfant doit citer des caractéristiques physiques pour comprendre des expériences actuelles ou à venir. Il s'agit donc d'une compétence conceptuelle. Dans tous les temps de l'expérimentation, un repérage statistique a révélé que plus de 97% des élèves s'avèrent capables d'écrire à propos de classes générales d'objets et non seulement d'objets particuliers. Ils commencent par exemple par écrire *« les objets qui coulent »*. Un petit lot d'environ 22% des enfants se montre en outre capable de présenter des contradictions qu'ils ont repérées. Par exemple ils écrivent que *« les objets lourds coulent et les légers flottent, mais des fois c'est l'inverse »*. L'entraînement proposé aux enfants porte sur cette aptitude. Nous supposons que l'articulation de situations collaboratives et individuelles durant l'entraînement, amène des progrès des explications en nombre de variables utilisées (Hypothèse H4) et en qualité conceptuelle (Hypothèse H5).

7.3.1 – L'évolution du nombre de variables des explications générales (score FT_{exp})

L'évolution du nombre de facteurs de pré- à post-test différé selon le groupe expérimental – En pré-test, les enfants utilisent en moyenne deux arguments pour leurs explications générales (M = 2,07 ; SD = 1,04) (voir Tableau 25). Une ANOVA mixte 3 (temps) x 4 (condition expérimentale) permet de comparer l'évolution du nombre d'arguments selon la condition expérimentale.

• Il n'y a pas d'effet principal du temps, ni du groupe expérimental (ns.).

• Il y a un effet d'interaction entre le temps et le groupe, $F(6, 204) = 2{,}149$, $p = .049$, $\eta_p^2 = .059$.

Le nombre de facteurs des explications générales évolue différemment selon les groupes.

Tableau 25 – Nombre moyen (écart type) de facteurs fournis dans les explications générales (score FT_{exp}) selon le groupe expérimental en pré- et post-test

Groupe	Temps		
	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
DDD	2,14 (1,01)	2,32 (1,19)	2,14 (0,93)
DID	2,27 (1,15)	2,15 (1,19)	2,04 (1,18)
IDI	1,92 (1,02)	2,19 (0,94)	2,85 (1,22)
III	1,96 (0,96)	2,19 (1,44)	2,31 (1,19)
Total	2,08 (1,03)	2,22 (1,19)	2,33 (1,16)

Une évolution singulière dans le groupe IDI – Une ANOVA répétée sur les trois temps d'entraînement est effectuée pour chaque groupe expérimental.

• Cette analyse indique une évolution significative du score FT_{exp} pour le groupe IDI, $F(2, 50) = 7{,}272$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .225$. Les analyses post hoc indiquent une progression de pré-test ($M = 1{,}92$; $SD = 1{,}02$) à post-test différé ($M = 2{,}85$; $SD = 1{,}22$) (Bonferroni, $p = .005$) et de post-test immédiat ($M = 2{,}19$; $SD = 0{,}94$) à différé (Bonferroni, p = .036).

• Dans les groupes DDD, DID et IDI, l'analyse n'indique pas d'évolution significative (*ns*).

Seuls les élèves du groupe IDI, développent davantage de facteurs explicatifs de pré-test à post-test différé. Cette évolution n'a lieu que dans un temps différé après l'entraînement.

Une analyse de variance simple a été effectuée pour comparer à chaque instant le nombre d'arguments utilisés par les enfants dans leurs explications générales : il n'y a pas de différence significative entre les groupes en pré-test (*ns*), en post-test immédiat (*ns*) ou en post-test différé (p = .055). Les élèves du groupe IDI progressent donc dans le nombre d'arguments qu'ils utilisent pour expliquer de manière générale le phénomène. Au final ce nombre d'arguments ne diffère pas des autres groupes (voir Figure 15).

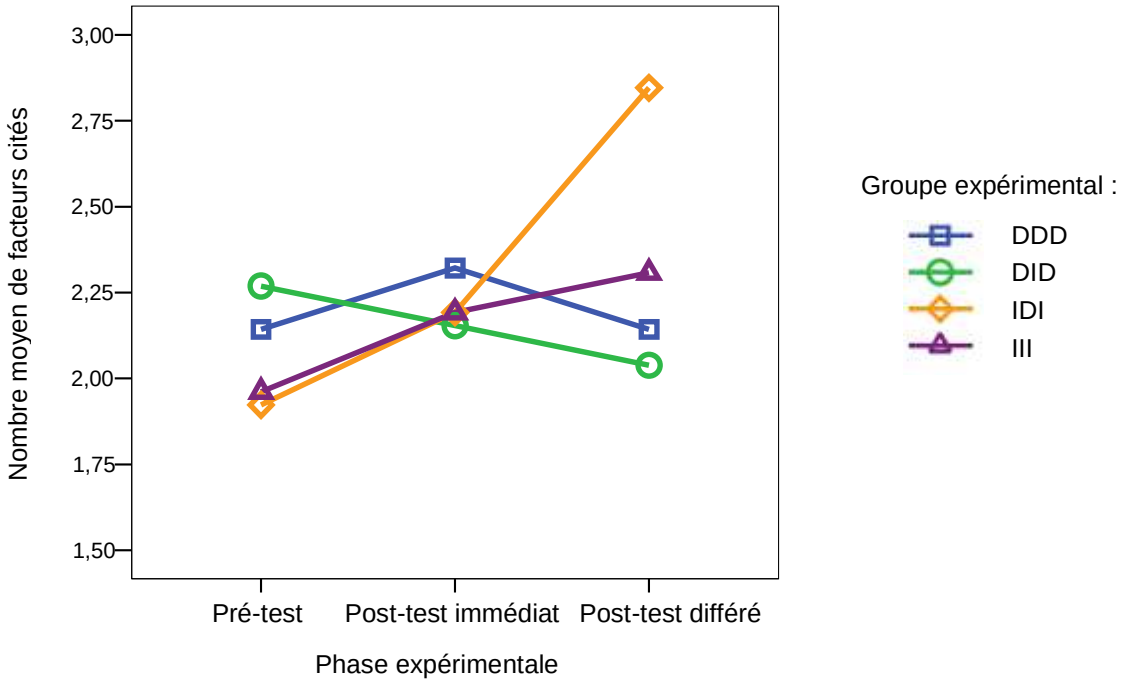


Figure 15 – Evolution du score FT_{exp} en pré- et post-tests en fonction du groupe expérimental

7.3.2 – L'évolution conceptuelle des explications générales (score Niv_{exp})

Un niveau conceptuel des explications comparable en pré-test – Afin de compenser l'absence de technique statistique non paramétrique simple pour un design expérimental mixte, plusieurs analyses non paramétriques sont effectuées. Un test de Chi2 d'homogénéité n'indique pas de différence en pré-test dans la répartition initiale des élèves des quatre conditions, en fonction du niveau de leurs explications générales Niv_{exp} (*ns*). Dans l'ensemble des conditions, la majorité des explications des élèves sont de niveaux IIIA : ils présentent donc une conception qui

utilise soit le contenu de l'objet, soit une conception en termes de poids spécifique de l'objet impliquant la masse et la matière. Ces deux conceptions sont des préconceptions de la densité. Dès le pré-test, la majorité des enfants produisent donc des explications qui approchent la notion de densité. Une importante proportion d'élèves sont ensuite de niveau IIB : leurs explications comprennent souvent les notions de masse ou de matière de manière non coordonnées, ou encore celle de la taille de l'objet qui préfigure la notion de volume (voir Tableau 26).

Une analyse du score Niv_{exp} en fonction du temps et du groupe – Comme il n'existe pas de technique non paramétrique acceptable impliquant les facteurs inter-sujet (groupe expérimental) et intra-sujet (temps d'entraînement), nous avons substitué une ANOVA mixte 3 (temps d'entraînement) x 4 groupes expérimentaux sur le nombre d'enfants qui parviennent aux niveaux IIIA et IIIB dans chaque groupe. Ces enfants rendent en effet une explication dans laquelle on peut détecter au moins une intuition de la densité. La solution est critiquable mais minimise tout de même le risque de conclure de façon erronée à un effet significatif.
• Cette analyse n'indique pas d'effet principal du groupe (*ns*) ou du temps d'entraînement (*ns*).
• Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction entre le groupe et le temps d'entraînement (*ns*).
En effet, une majorité d'enfants donnent des explications de niveaux IIIA dans tous les groupes et à tout moment de l'entraînement (voir Tableau 26). Nous reprenons ensuite par des analyses non paramétriques les effets principaux possibles (évolution au sein de chaque groupe, et comparaison des groupes temps par temps), car ces analyses non paramétriques sont plus adaptées pour comprendre les données.

Tableau 26 – Nombre d'élèves par niveau conceptuel des explications générales en fonction du groupe expérimental et du temps

Temps	Groupe	Niveau						N
		0	I	IIA	IIB	IIIA	IIIB	
Pré-test	DDD	0	0	0	9	18	1	28
	DID	0	1	0	9	16	0	26
	IDI	0	1	1	9	14	1	26
	III	0	0	0	12	12	2	26
	Total	0	2	1	39	60	4	106
Post-test immédiat	DDD	0	0	1	6	20	1	28
	DID	0	1	1	9	14	1	26
	IDI	0	0	1	9	15	1	26
	III	1	2	0	4	16	3	26
	Total	1	3	3	28	65	6	106
Post-test différé	DDD	0	0	0	8	18	2	28
	DID	1	1	0	10	14	0	26
	IDI	0	0	0	4	21	1	26
	III	0	1	0	5	18	2	26
	Total	1	2	0	27	71	5	106

Note. N = nombre d'individus.

Une évolution générale du niveau des explications de pré- à post-test différé – Le niveau des explications constitue une variable ordonnée. Le test de Friedman a été employé afin d'étudier s'il y a une évolution globale du niveau des explications de pré- à post-test. Cette analyse confirme qu'il n'y a pas d'effet significatif au cours des trois temps d'entraînement :

globalement le temps n'affecte pas de manière significative le niveau des explications des enfants (p = .088). Le test de Friedman a ensuite été appliqué pour chaque groupe expérimental afin de déterminer s'il y a des évolutions remarquables des conceptions pour certaines conditions expérimentales au cours de l'entraînement.

• Ce test est uniquement significatif pour le groupe IDI, $\chi 2(2, N = 26) = 6{,}933$; p = .031, d = .52). L'analyse post-hoc de chaque intervalle de temps à l'aide du test des rangs (correction de Bonferroni : α/3 = .017) indique une progression significative de pré-test à post-test différé (p = .013) : les explications du groupe IDI progressent de niveau après le post-test immédiat.

• Il n'y a pas d'évolution significative du niveau conceptuel des explications dans les autres groupes expérimentaux (*ns*).

L'analyse montre en fait peu d'évolution. L'entraînement a peu favorisé de progrès cognitifs dans la qualité des explications générales. Pour le groupe IDI, de pré-test à post-test différé, neuf élèves progressent tandis qu'un seul élève régresse et que seize autres conservent leur niveau. Egalement, six élèves de niveau inférieur à IIIA en pré-test (ne présentant pas de préconception de la densité) sont ensuite classés aux niveaux IIIA ou IIIB en post-test différé. Cette évolution du groupe IDI n'est cependant pas significativement différente des autres groupes expérimentaux.

Des niveaux comparables à chaque temps d'entraînement – Un test de Chi2 d'homogénéité a enfin été réalisé à chaque temps de l'entraînement pour comparer la répartition des niveaux des explications en fonction du groupe expérimental. Ce test n'indique pas de différence significative entre les groupes en pré-test comme en post-tests (n.s). Les explications des élèves ne progressent donc pas dans un groupe plus que dans l'autre, En particulier, environ deux tiers des élèves conservent leur niveau initial dans tous les groupes (voir Tableau 27).

Tableau 27 – Type d'évolution et nombre d'élèves qui régressent, se maintiennent et progressent entre pré-test et post-test différé par groupe expérimental

Evolution	Groupes expérimentaux			
	DDD	DID	IDI	III
Progression	IIIA ®IIIB : 1 IIB ®IIIA : 4	IIB ®IIIA : 4 I ®IIIA : 1	IIB ®IIIA : 7 IIA ®IIB : 1 I ®IIIA : 1	IIIA ®IIIB : 1 IIB ®IIIA : 7 IIA ®IIB : 1
Stabilité	IIIB : 1 IIIA : 14 IIB : 5	IIIA : 9 IIB : 5	IIIB : 1 IIIA : 13 IIB : 2	IIIB : 1 IIIA : 9 IIB : 4
Régression	IIIA ®IIB : 3	IIIA ®IIB : 5 IIIA ®0 : 1 IIIA ®1 : 1	IIIA ®IIB : 1	IIIB ®IIIA : 1 IIIA ®IIB : 1 IIB ®1 : 1
Total	28	26	26	26

7.3.3 – Les arguments utilisés dans les explications générales

Les arguments et les combinaisons d'arguments – Les arguments constituent la base pour catégoriser les explications générales en niveaux conceptuels. Il est donc possible de repérer dans les arguments utilisés des changements des conceptions des enfants qui n'apparaîtraient pas dans l'analyse. Quatre arguments sont majoritairement employés par les enfants pour construire

leurs explications générales, quand bien même il reste difficile de savoir ce que ces arguments signifient réellement pour l'enfant : la matière, la forme, le contenu et la masse de l'objet appliquée dans le sens conventionnel. Des analyses statistiques ont été effectuées pour comparer l'évolution de chacun des facteurs selon les conditions expérimentales. Ces analyses n'indiquent pas de différence en fonction du groupe expérimental (*ns*) (voir Figure 16).

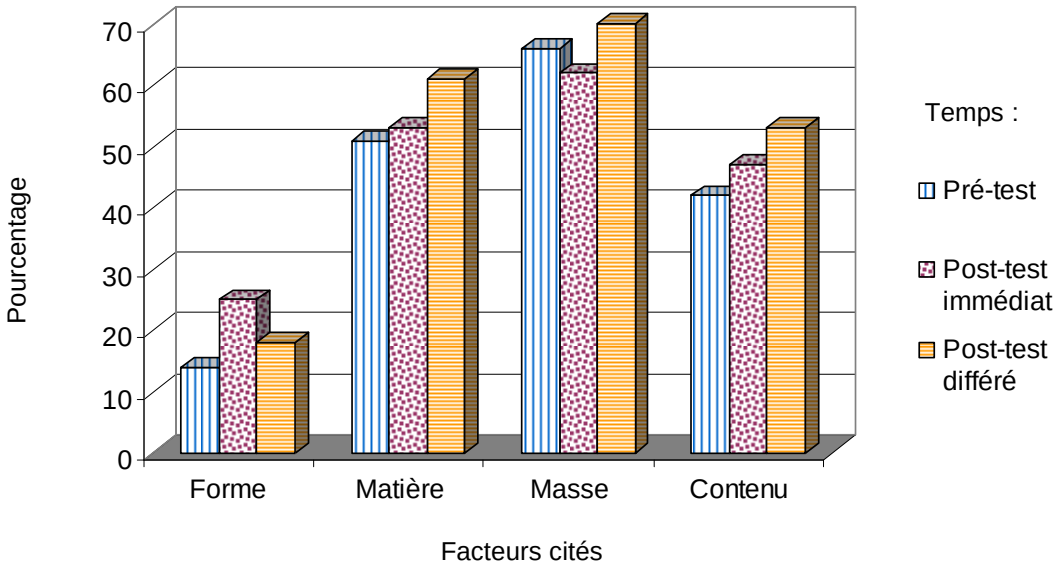


Figure 16 – Proportion des principaux facteurs cités dans les explications générales en pré- et post-tests

Conclusion à propos des variables citées dans les explications générales – Les enfants évoluent peu dans le fait de faire référence à certaines variables. En revanche, on ignore ici le sens que les enfants accordent aux différents arguments.

7.3.4 – Conclusion sur l'évolution des explications générales (hypothèses H4 et H5)

Des explications qui évoluent peu en général – L'ensemble des enfants montre peu de changement dans les explications générales, que ce soit dans la qualité conceptuelle ou dans le nombre de facteurs cités. Le groupe IDI semble se démarquer légèrement : certains de ces enfants écrivent plus de facteurs explicatifs, d'autres progressent dans le choix conceptuel de ces facteurs. Ils progressent d'abord dans le nombre d'arguments cités, bien qu'au final la performance ne diffère pas significativement des autres groupes d'apprenants. **L'hypothèse H4 est validée.** De plus, le groupe IDI progresse légèrement dans la qualité conceptuelle des arguments mais cette évolution n'est pas différente des autres enfants. De plus les analyses sont relativement mal adaptées à ce type de design expérimental. **L'hypothèse H5 n'est pas validée.** L'évolution des explications parait donc différente de celle des justifications où les enfants du groupe DDD ont tendance à progresser et pas ceux du groupe IDI. Cette distinction des compétences montre que les individus peuvent développer une loi physique générale telle que la théorie d'Archimède, tout en continuant d'utiliser, face à des objets particuliers, des arguments moins évolués.

7.4 – En conclusion : des évolutions contrastées

Les analyses ont permis d'étudier l'évolution des prédictions, des justifications et des explications générales. Elles permettent donc de suivre trois formes de pensée de l'enfant, parfois avec plusieurs indicateurs. Le fait de prendre en compte plusieurs compétences des enfants pose aussi la question de leur interrelation. Avant de poursuivre, nous étudions s'il existe des liens entre les indicateurs principaux des justifications, et entre ceux des explications générales. Ensuite, nous étudions les liens éventuels entre les types de réponses. Les corrélations entre les évolutions des diverses performances suffisent à ce moment de la recherche pour avoir une idée rapide sur un éventuel lien entre elles. Chaque performance (score PR des prédictions, scores FT et CL des justifications, score FT_{exp} et Niv_{exp} des explications générales) est recodée en termes de gain (différence entre le score de post-test et le score de pré-test) : le premier indique le gain de pré-test à post-test immédiat, le second indique le gain de pré-test à post-test différé. Une analyse de corrélation de Pearson indique dans quelle mesure les évolutions sont concomitantes.

7.4.1 – Le nombre d'arguments et la qualité conceptuelle sont souvent liés

Pour les explications générales comme pour les justifications, un lien entre le nombre d'arguments cité et la qualité conceptuelle – Les explications générales et les justifications ont été analysés sous deux angles : le nombre d'arguments cité et la qualité conceptuelle. Ces deux analyses sont relativement liées.

• Dans les justifications, les évolutions du score FT et du score CL sont généralement corrélée de pré- à post-test immédiat, $r(106) = .759$, $p<.001$, ou de pré- à post-test différé, $r(106) = .723$, $p<.001$. Autrement dit, plus les enfants proposent des justifications étayées par des variables, et plus ils ont de chance d'obtenir un score conceptuel de niveau élevé.

• Dans les explications générales, il en va de même des scores FT_{exp} et Nix_{exp}, de pré- à post-test immédiat, $r(106) = .533$, $p<.001$, ou de pré- à post-test différé, $r(106) = .645$, $p<.001$. Là encore, plus les enfants citent de variables dans leurs explications générales et plus ils ont de chance d'atteindre un score conceptuel élevé.

Cette analyse est importante pour comprendre les résultats précédents. En effet, les enfants du groupe DDD progressent dans le nombre de facteurs cités en justification et dans le choix de ces facteurs. L'appropriation d'un répertoire de variables pour décrire le phénomène donne davantage d'opportunité de saisir un concept pertinent.

7.4.2 – Peu de liens entre les prédictions, les explications et les justifications

Absence de lien entre justifications et prédictions – L'évolution des justifications (scores FT ou CL) de pré-test à post-test (immédiat ou différé) pourrait être liée à l'évolution des prédictions (score PR) de pré-test à post-test (immédiat ou différé). Aucune corrélation n'est cependant constatée entre l'évolution ces performances (*ns*). Dans le cas présent, le progrès en prédiction n'amène pas forcément de progrès en justification et inversement.

Absence de lien entre justifications et explications générales – L'évolution des justifications (scores FT ou CL) de pré-test à post-test (immédiat ou différé) pourrait être liée à

l'évolution des prédictions, voire des explications générales (score FT_{exp} ou Niv_{exp}) de pré-test à post-test (immédiat ou différé).
• Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des performances de justification et l'évolution des explications générales (*ns*).
Les deux performances argumentatives, justification et explications générales, semblent évoluer de manière distincte. Autrement dit, les enfants peuvent développer une explication générale et utiliser des justifications particulières différentes. Une des idées reçues est souvent que l'enfant dispose « intérieurement » d'une théorie ou d'une explication, et que cela se retrouve dans sa façon de justifier un évènement particulier, ou d'expliquer généralement le phénomène. Or, justification et explication générale se distinguent. Ainsi, les enfants du groupe DDD qui progressent dans les justifications, n'ont pas progressé dans leurs explications générales ou dans leurs prédictions.

Un lien entre prédiction et explication générale – L'évolution des prédictions pourrait être liée à l'évolution des explications générales (scores FT_{exp} ou Niv_{exp}).
• L'évolution de pré-test à post-test immédiat de la compétence de prédiction PR est corrélée significativement mais négativement à celle du score FT_{exp} des explications générales de pré-test à post-test immédiat, $r(106) = -.208$, $p = .032$.
• Cette corrélation n'apparaît pas entre pré-test et post-test différé (*ns*).
• La même analyse de corrélation séparée pour les différents groupes, n'indique pas de lien de corrélation (*ns*).
De manière générale, entre pré-test et post-test immédiat, plus les enfants ont progressé en justesse de leurs prédictions, et moins ils ont progressent en nombre d'arguments cités dans les explications générales. Cette tendance relativement limitée est difficile à expliquer car les enfants ne vérifient pas en pré- ou post-test si leurs prédictions sont justes ou fausse : il est impossible de supposer que les enfants voyant leur réussite ou échec dans les prédictions élaborent leurs explications générales. En revanche, il est important de remarquer que les enfants du groupe IDI progressent justement en prédiction et en explication générale. Ces deux effet paraissent néanmoins distincts, les enfants ayant tendance à progresser dans une performance quand l'autre ne progresse pas.

Des compétences distinctes – Au terme de ces analyses, les trois compétences ne semblent pas évoluer dans le même sens chez les enfants entre pré-test et post-test. On peut dire que ces compétences sont distinctes, ce qui ne signifie pas pour autant qu'elles ne s'appuient pas du tout les unes sur les autres, mais seulement que le fait de progresser dans l'une n'est pas lié aux évolutions de l'autre.

Résumé du chapitre 7

L'objectif principal de ce chapitre est d'étudier si la mise en place de phases individuelles et collectives de travail peut provoquer des évolutions cognitives spécifiques. Lorsqu'on étudie comment l'enfant pense un phénomène physique comme la flottaison des objets, l'articulation des situations sociales solitaires et collaboratives peut avoir des effets sur la pensée de l'enfant. Les résultats montrent que :

- les enfants du groupe IDI progressent dans les prédictions (hypothèse H1 acceptée) ;
- les enfants du groupe DDD progressent dans les justifications particulières du phénomène (hypothèse H2 et H3 rejetées) ;
- les enfants du groupe IDI progressent dans le nombre de facteurs des explications générales (hypothèse H4 validée), mais peu dans la qualité conceptuelle de ces explications (hypothèse H5 non validée).

Le changement cognitif peut s'expliquer par la mise en place de situations sociales successives dans le temps. L'articulation des situations individuelles et collaboratives n'est pas toujours bénéfique. Les enfants qui se sont entraînés en dyade, puis en solitaire, puis en dyade (groupe DID), n'ont pas progressé, et montrent plutôt des difficultés dans leurs conceptions. Au contraire, travailler seul a des effets positifs pour le développement des idées scientifiques des enfants, à condition que cette situation s'articule avec des temps collaboratifs (groupe IDI). Enfin travailler régulièrement à deux (groupe DDD) n'apparaît pas bénéfique sur tous les plans de la pensée. Il ne suffit pas de proposer à l'enfant un entraînement uniquement collaboratif ou solitaire ou alternant les deux situations, mais plutôt de les organiser dans une chronologie particulière : le travail effectué dans une situation a des implications dans les suivantes et ainsi de suite.

La pluralité des évaluations permet d'indiquer des avancées cognitives particulières dues à l'enchaînement spécifiques de situations sociales. Contrairement à une vision unitaire de l'esprit, le développement de théories générales n'empêche pas les enfants (ou même les adultes) d'utiliser des conceptions plus frustes ou différentes, pour résoudre des problèmes particuliers. Les interactions sociales entre pairs ne favorisent pas toutes les compétences conceptuelles mais certaines seulement, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de justifier. Combinées d'une certaine façon avec un temps de travail antérieur et postérieur, elles permettent de favoriser le développement de prédictions et d'explications générales. Ce type d'étude où l'enfant convoque diverses compétences, est d'autant plus légitime que le développement d'une performance cognitive peut avoir des conséquences sur une autre.

Comment la chronologie des situations solitaires et collaboratives amène l'enfant à développer et coordonner différentes facettes de son intelligence ? Dans les chapitres suivants, nous étudions les raisons de ces évolutions cognitives contrastées en prenant en compte les conduites concrètes des individus dans un environnement physique et social.

CHAPITRE 8 – LES PERFORMANCES DURANT L'ENTRAINEMENT

Focalisation du chapitre – Le chapitre précédent montre les effets cognitifs individuels de pré-test à post-test. On se demande si des effets sont observables durant l'entraînement. Durant l'entraînement, les enfants doivent réaliser des prédictions sur des objets concrets et écrire des explications générales : les hypothèses 6, 7 et 8 portent sur l'évolution de ces performances (Pour les analyses statistiques de ce chapitre, voir Annexe P). Quatre questions se posent à chaque fois :
- Quelle est l'évolution de ces performances selon le groupe expérimental ?
- Y a-t-il une différence de performance en situation collaborative et solitaire ?
- Y a-t-il une différence selon que les situations solitaires et collectives alternent ou non ?
- Y a-t-il un lien entre l'évolution de performance durant l'entraînement et de pré- à post-test ?

8.1 – L'évolution des prédictions durant l'entraînement

Les enfants des groupes IDI et DID progressent-ils davantage dans les prédictions durant l'entraînement, que les groupes DDD et III (hypothèse H6) ? Les performances durant l'entraînement sont parfois individuelles et parfois collectives, et les processus psychologiques sous-jacents sont donc difficiles à comparer. Après des analyses sur l'ensemble des groupes au cours de l'entraînement, des analyses spécifiques sont proposées.

8.1.1 – L'évolution des prédictions durant l'entraînement (score PR)

Des évolutions différentes des prédictions en fonction du temps et du groupe – On veut comparer l'évolution des prédictions durant l'entraînement en fonction du groupe expérimental. Une ANOVA mixte 3 (temps) X 4 (groupe expérimental) a été réalisée.
• Il n'y a pas d'effet simple du temps ou du groupe expérimental (*ns*).
• Il y a un effet d'interaction significatif du temps et du groupe, $F(6, 204) = 2{,}705$, $p = .015$, $\eta_p^2 = .074$. Les prédictions évoluent différemment selon les groupes (voir Tableau 29, Figure 17).

Tableau 29 – Nombre (écart type) de prédictions correctes (score PR) par groupe expérimental durant l'entraînement

Groupe	Test1			Test2		Test3	
DDD	2,214	(0,686)		2,214	(0,568)	2,000	(0,861)
DID	2,231	(0,908)		1,961	(0,662)	2,231	(0,710)
IDI	1,808	(0,895)	→ *	2,538	(0,647)	2,231	(0,815)
III	1,846	(0,613)		1,885	(0,653)	1,923	(0,935)
Total	2,028	(0,798)		2,151	(0,673)	2,094	(0,834)

Notes. * p < .05 ; Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

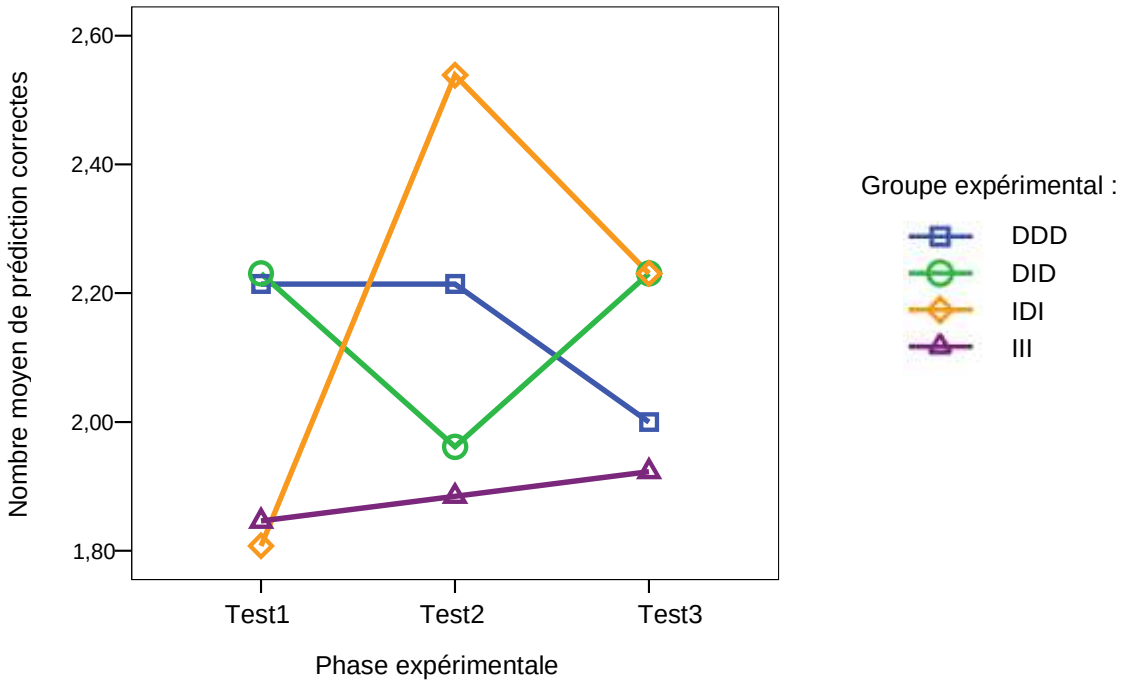


Figure 17 – Nombre moyen de prédictions correctes (score PR) par groupe expérimental durant les temps d'entraînement

Les prédictions du groupe IDI progressent – Pour chaque groupe expérimental, on cherche à caractériser l'évolution des prédictions au cours de l'entraînement. Une ANOVA répétée est réalisée dans chaque groupe.

• Il n'y a pas d'évolution significative des prédictions des groupes DDD, DID ou III (n.s).

• Le groupe IDI montre une évolution significative de la justesse des prédictions au cours du temps, $F(2, 50) = 6{,}646$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .210$. Les analyses post hoc indiquent une évolution quadratique, avec un pic de progression en test2 (Bonferroni, $p = .001$). Lorsque les enfants du groupe IDI réalisent les prédictions en dyade, leurs prédictions progressent significativement. Ensuite, il n'y a pas de différence significative de test2 à test3 (*ns*). Il ne résulte pas non plus d'évolution significative de test1 à test3 (*ns*). Pour le groupe IDI, il y a donc une progression de la justesse des prédictions au deuxième temps d'entraînement. Cette performance s'établit ensuite à un niveau intermédiaire, qui n'est pas tout à fait différent du niveau individuel, ni du niveau dyadique : ces enfants maintiennent en partie la qualité des prédictions atteinte en dyade.

Les prédictions à chaque temps d'entraînement – On se demande s'il existe des différences dans la justesse des prédictions à chaque temps d'entraînement en fonction du groupe. Des ANOVA simples permettent de comparer les prédictions.

• Il n'y a pas de différence initiale en test1 ou en test3 selon le groupe expérimental (*ns*).

• Il y a une différence significative en test2 entre les prédictions des groupes expérimentaux, $F(3, 105) = 5{,}663$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .143$: les enfants du groupe IDI réalisent de meilleures prédictions en test2 ($M = 2{,}54$; $SD = 0{,}65$) que les enfants des groupes DID ($M = 1{,}96$; $SD = 0{,}66$) (Scheffé, $p = .016$) et que ceux du groupe III ($M = 1{,}88$; $SD = 0{,}65$) ($p = .004$).

La progression des prédictions du groupe IDI en test2, permet donc à ces enfants de se démarquer des groupes DID et III, qui travaillent en solitaire à ce moment de l'entraînement. Les enfants du groupe IDI parviennent alors à un meilleur niveau de prédiction, avec 2,5 prédictions justes sur trois, ce qui est légèrement mieux que le groupe DDD qui travaillent aussi en dyade.

Résultats en termes d'effectifs – Les résultats précédents peuvent s'analyser en termes d'effectifs. Ainsi, on se demande quel groupe favorise davantage d'enfants. L'évolution des prédictions de test1 à test3 peut être analysée en nombre d'élèves qui régressent, stagnent ou progressent. Le groupe IDI contient plus d'enfants qui améliorent leurs prédictions individuelles (N = 12) et peu d'enfants qui régressent (N = 4). Les effectifs du groupe III sont proches avec une importante proportion d'enfants qui progressent en prédiction individuelle (N = 10) et peu qui régressent (N = 6). Si on regarde les prédictions dyadiques, le groupe DID montre davantage de progressions (N = 8) mais aussi de régressions (N = 10) que le groupe DDD (respectivement, N = 4 et N = 8) (voir Tableau 30, Figure 18).

Tableau 30 – Nombre (et pourcentage) d'élèves par groupe expérimental par type d'évolution des prédictions durant l'entraînement

Groupe	Evolution de test1 à test2			Evolution de test1 à test3		
	Régression	Stagnation	Progression	Régression	Stagnation	Progression
DDD	8 (29,5%)	12 (43%)	8 (29,5%)	8 (29%)	16 (57%)	4 (14%)
DID	11 (42%)	9 (35%)	6 (23%)	10 (38%)	8 (31%)	8 (31%)
IDI	2 (8%)	8 (31%)	16 (61%)	4 (15%)	10 (38,5%)	12 (46%)
III	8 (31%)	10 (38%)	8 (31%)	6 (23%)	10 (38,5%)	10 (38,5%)
Total	29 (27%)	39 (37%)	38 (36%)	28 (26,5%)	44 (41,5%)	34 (32%)

Notes. Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

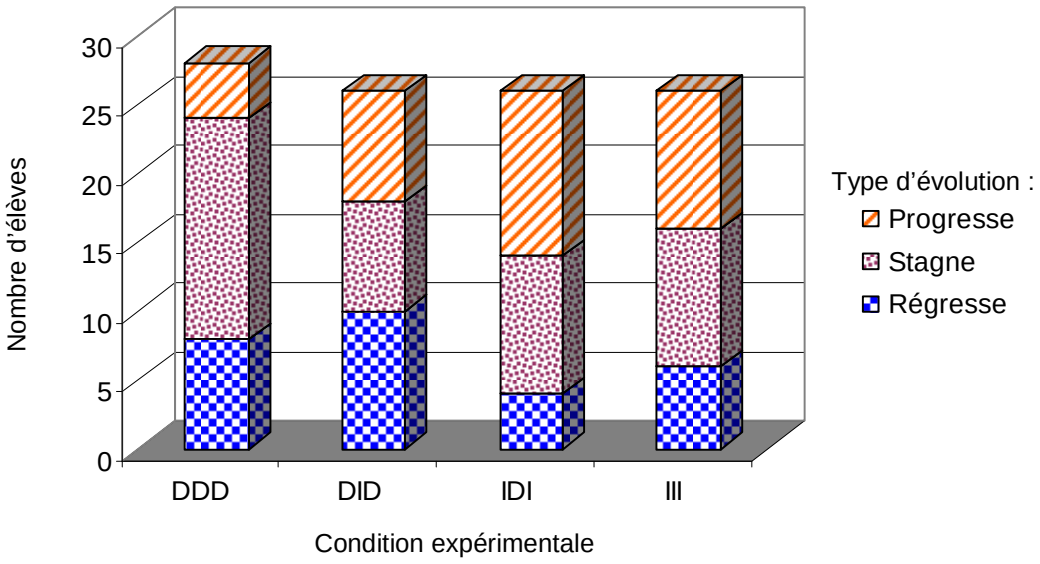


Figure 18 – Nombre d'élèves dont le score PR progresse, régresse ou stagne du début à la fin de l'entraînement par groupe expérimental

Conclusion sur les groupes expérimentaux – Les analyses mettent en lumière des progrès plus importants dans les prédictions des enfants du groupe IDI. Ces résultats sont insuffisants pour comprendre comment l'alternance des situations du groupe IDI a favorisé des progrès en post-test. Il reste certaines questions : les prédictions sont-elles plus correctes en situation dyadique ? Sont-elles meilleures lorsque les groupes alternent ces situations par rapport à ceux qui n'alternent pas ces situations ? Y a-t-il un lien entre les progrès réalisés durant l'entraînement et ceux réalisés en post-test ? Les analyses suivantes répondent à ces questions.

8.1.2 – Les prédictions en situation individuelle et dyadique : la situation dyadique favorise de meilleures prédictions

Les prédictions individuelles et dyadiques à chaque temps d'entraînement – Les performances collectives sont-elles meilleures que les performances individuelles ? A chaque temps d'entraînement, une ANOVA simple a déjà permis de comparer les prédictions des quatre groupes expérimentaux (voir 8.1.1). Les comparaisons *a priori* (ou « planifiées ») permettent à chaque instant de comparer les prédictions dyadiques et individuelles. Ces comparaisons ont été planifiées à chaque temps d'entraînement, pour savoir si les situations dyadiques (pondérées +1) conduisent à de meilleures prédictions que les situations individuelles (pondérées -1).

• Au temps test1, ces comparaisons indiquent une supériorité des enfants en situations dyadiques c'est-à-dire des groupes DDD (M = 2,21; SD = 0,69) et DID (M = 2,23; SD = 0,91), par rapport aux enfants en situation individuelle, issus des groupes IDI (M = 1,81; SD = 0,89) et III (M = 1,85; SD = 0,61), $t(102) = 2{,}595$, $p = .011$. En début d'entraînement, travailler à deux implique de meilleures prédictions.

• En test2, ces comparaisons indiquent à nouveau une supériorité des enfants en situations dyadiques c'est-à-dire des groupes DDD (M = 2,21; SD = 0,57) et IDI (M = 2,54; SD = 0,65), par rapport aux enfants en situation individuelle, issus des groupes DID (M = 1,96 ; SD = 0,66) et III (M = 1,88; SD = 0,65), $t(102) = 3{,}688$, $p < .001$. Au deuxième temps d'entraînement, travailler à deux implique toujours de meilleures prédictions pour les enfants.

• Enfin en test3, il n'y a pas de différence selon que la situation est collective ou solitaire (n.s).

Aux deux premiers temps d'entraînement, il y a donc une différence de justesse des prédictions selon que les enfants travaillent seul ou en dyade : le travail collectif favorise de meilleures prédictions. Cependant en fin d'entraînement, ce n'est plus le cas. La succession des situations d'entraînement pourrait donc limiter cette tendance.

8.1.3 – Les prédictions selon la succession des situations dyadiques et solitaires

L'alternance des situations explique de meilleures prédictions en fin d'entraînement – Les prédictions des groupes qui alternent les situations individuelles et collaboratives (groupes IDI et DID) deviennent-elles meilleures que celles de groupes constants (DDD et III) ? La procédure de comparaisons *a priori* permet de comparer les prédictions selon que les enfants alternent les situations ou non. A chaque temps d'entraînement, des comparaisons sont planifiées entre les performances des groupes alternants DID et IDI (pondérées +1) et celles des groupes non alternants DDD et III (pondérées -1). On suppose que l'alternance des situations pourrait favoriser de meilleures prédictions au cours de l'entraînement.

• En début d'entraînement ou test1, il n'y a pas de différence entre les groupes alternants ou non alternants (*ns*). Ceci va dans le sens de notre hypothèse car les groupes expérimentaux ne se distinguent alors que par la situation de test1.
• En test2, il n'y a pas de différence entre les groupes alternants ou non alternants (*ns*).
• En fin d'entraînement ou test3, les groupes alternants IDI (M = 2,23 ; SD = 0,81) et DID (M = 2,23 ; SD = 0,71) prédisent mieux la flottaison des objets que les groupes non alternants DDD (M = 2,00; SD = 0,86) et III (M = 1,92; SD = 0,93), $t(102) = 1{,}659$, $p = .05$, unilatéral.

Travailler seul et travailler à deux selon le moment – Au cours de l'entraînement, certains enfants alternent des situations individuelles et collaboratives. De manière globale, cette alternance est favorable aux prédictions des enfants durant l'entraînement. Alterner les situations solitaires et collaboratives favoriserait les prédictions. Egalement, lorsque les enfants travaillent à deux, ils développent de meilleures compétences collectives. Cependant, cette tendance du travail collaboratif s'estompe dans la chronologie des situations traversées. L'effet du travail de groupe est remplacé par un effet bénéfique de l'alternance des situations individuelles et collectives.

8.1.4 – Y a-t-il dans le groupe IDI une correspondance entre l'évolution des prédictions de pré- à post-test et durant l'entraînement ?

L'évolution de pré- à post-test ne suit pas celle de l'entraînement – Seuls les enfants du groupe IDI ont progressé dans les prédictions de pré-test à post-test (voir 7.1). Ce groupe montre aussi une évolution particulière des prédictions durant l'entraînement. L'évolution du score PR durant l'entraînement peut-elle expliquer l'évolution de ce score en post-test ? On s'attend à ce que les enfants qui progressent durant l'entraînement progressent aussi en post-test. Il n'y a cependant pas de corrélation significative entre ces deux variables que ce soit de façon générale à l'ensemble des participants (*ns*) ou en distinguant par groupe expérimental (*ns*).

L'origine des progrès du groupe IDI – L'analyse des évolutions du groupe IDI durant l'entraînement et en post-test montre un phénomène complexe : la justesse des prédictions ne suit pas une tendance continue, mais est sujette à des progrès et à des régressions. Par exemple, parmi les enfants qui progressent pendant l'entraînement, environ la moitié d'entre eux régresse de pré-test à post-test immédiat (N = 6), et un tiers d'entre eux progresse (N = 4) ; en revanche, en post-test différé la majorité d'entre eux a stagné (N = 6) ou progressé (N = 5) (voir Tableau 31).

Tableau 31 – Evolutions des élèves du groupe IDI en post-test selon leur évolution en test3

Evolution	Evolution de test1 à test3			
	Régression	Stagnation	Progression	Total
Evolution en post-test immédiat				
Régression	1	4	6	11
Stagnation	1	1	2	4
Progression	2	5	4	11
Evolution en post-test différé				
Régression	0	1	1	2
Stagnation	1	1	6	8
Progression	3	8	5	16
Nombre total d'élèves	4	10	12	26

Notes. * p < .05 ; Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

8.1.5 – Conclusion sur les prédictions durant l'entraînement (hypothèse H6)

Un entraînement IDI plus favorable – Le travail collaboratif soutient les enfants et conduit généralement à de meilleures performances. Cet effet favorable de la situation collective est cependant atténué au fil du temps et remplacé par un autre effet : l'alternance des situations individuelles et collectives favorise de meilleures prédictions après deux alternances de situations. L'entraînement IDI favorise alors le développement de meilleures prédictions durant l'entraînement. **L'hypothèse H6 est donc validée.** Les enfants dont les prédictions progressent durant l'entraînement, ne progressent pas immédiatement en post-test. Cependant, en post-test différé de quelques semaines, des progrès sont visibles. L'évolution des prédictions du groupe IDI en post-test n'est pas liée de manière linéaire aux progrès des prédictions durant l'entraînement. De plus, les prédictions des enfants du groupe IDI ne s'améliorent indéniablement qu'en post-test différé et non en post-test immédiat. Le développement de pré- à post-test des prédictions s'explique de manière plus complexe soit par un effet d'incubation, soit par l'intervention d'autres évolutions cognitives pour d'autres performances.

8.2 – L'évolution des explications générales durant l'entraînement

Durant l'entraînement, les enfants doivent construire à trois reprises des explications générales. Ils disposent d'un environnement composé d'objets et d'outils qu'ils utilisent librement. Il peut y avoir des variations des explications selon que les enfants travaillent seuls ou à deux ou en alternant. L'hypothèse H7 suppose que l'alternance des situations solitaires et collaboratives (groupe IDI et DID) favorise le développement d'explications avec davantage d'arguments (score FT_{exp}). L'hypothèse H8 suppose qu'elle amène des explications plus pertinentes (score Niv_{exp}).

8.2.1 – L'évolution du nombre d'arguments des explications générales (score FT_{exp})

Une diminution générale du score FT_{exp} – On cherche à comparer l'évolution durant l'entraînement du nombre d'arguments cités en fonction du groupe expérimental. Une ANOVA mixte 3 (temps) × 4 (groupe expérimental) a été réalisée[3].
• Il n'y a pas d'effet simple du groupe expérimental (*ns*).
• Il y a un effet simple du facteur temps, $F(1{,}975, 201{,}422) = 7{,}661$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .070$: les analyses post-hoc indiquent seulement une diminution de ce score de test1 ($M = 2{,}71$; $SD = 0{,}99$) à test3 ($M = 2{,}22$; $SD = 1{,}04$). Le nombre de facteurs cités dans les explications générales durant l'entraînement diminue peu à peu, passant de test1 où ils utilisent en moeynne presque trois arguments, à test3 où ils en citent moins (Bonferroni, $p < .001$).
• Il n'y a pas d'effet d'interaction significatif du temps et du groupe (*ns*).
Globalement, les enfants citent de moins en moins de facteurs (voir Tableau 32, Figure 19).

[3] Le test de sphéricité est significatif, $\chi 2(2)=6{,}420$, $p = .04$, $\varepsilon=0.987$: on applique donc la correction de Huynh-Feldt.

Tableau 32 – Nombre moyen (écart type) de facteurs cités dans les explications générales par groupe expérimental durant l'entraînement

Groupe	Test1		Test2		Test3	
DDD	2,86	(0,76)	2,21	(1,23)	2,07	(1,05)
DID	2,46	(1,17)	2,50	(1,30)	2,23	(1,07)
IDI	2,88	(1,07)	2,85	(1,32)	2,50	(1,14)
III	2,62	(0,94)	2,38	(1,39)	2,08	(0,89)
Total	2,71	(0,99)	2,48	(1,31)	2,22	(1,04)

Notes. Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

Une diminution du nombre d'arguments pour le groupe DDD – Les analyses suivantes précisent la diminution repérée du score FT_{exp}, en distinguant les groupes expérimentaux. Une ANOVA répétée est réalisée pour chaque groupe expérimental.

• Il n'y a pas d'évolution significative durant l'entraînement pour le groupe DID, IDI ou III (*ns*).

• Il y a une évolution significative pour le groupe DDD, $F(2, 54) = 7{,}186$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .210$: ces enfants citent moins d'arguments entre test1 ($M = 2{,}86$; $SD = 0{,}76$) et test2 ($M = 2{,}21$; $SD = 1{,}23$) (Bonferroni, $p = .010$) et plus encore entre test1 et test 3 ($M = 2{,}07$; $SD = 1{,}05$) ($p = .004$).

Les enfants citent de moins en moins de facteurs explicatifs, notamment dans le groupe DDD. Des ANOVA simples ont aussi permis de comparer les scores des groupes durant l'entraînement : à chaque instant, il n'y a pas de différence significative (*ns*).

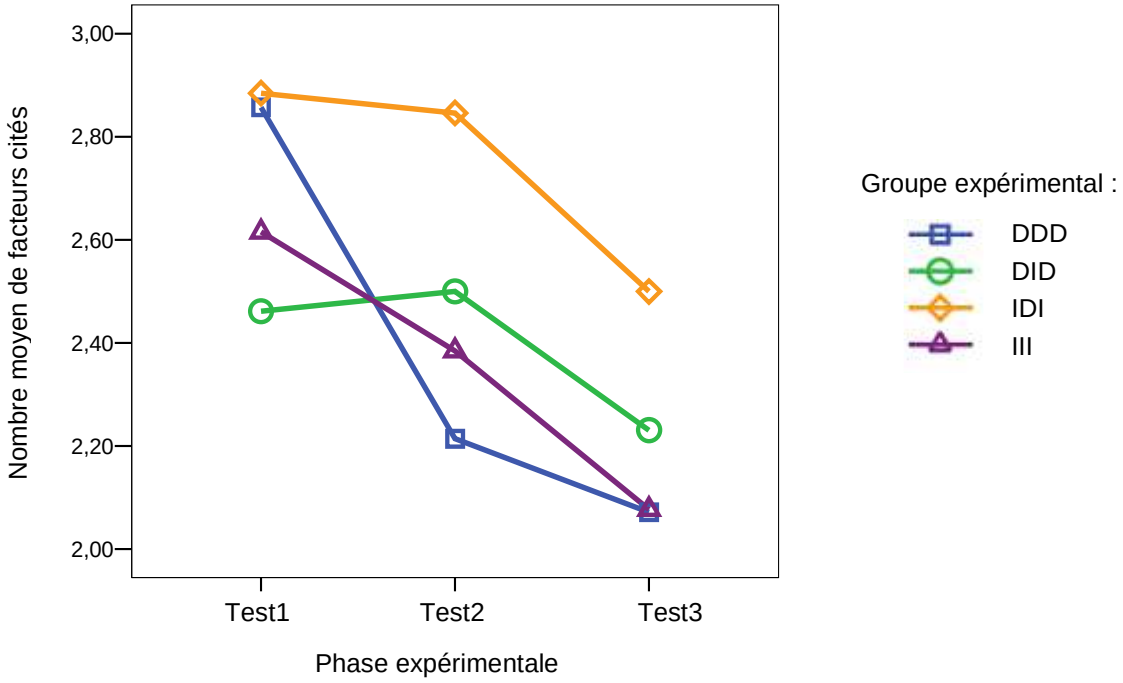


Figure 19 – Evolution du nombre de facteurs cités dans les explications générales (score FT_{exp}) par groupe expérimental durant l'entraînement

Résultats en termes d'effectifs – Cette évolution peut être analysée en nombre d'élèves qui réduisent, maintiennent ou augmentent ce nombre de facteurs explicatifs. De test1 à test2, il y a une répartition différente selon les groupes : une majorité d'enfants du groupe DDD réduisent

ce nombre de facteurs (N = 20), contrairement aux groupes DID (N = 8), IDI (N = 11) ou III (N = 10). De test1 à test3, près de la moitié des tous enfants a diminué le nombre de facteurs explicatifs cités ; les enfants des groupes alternants DID et IDI réduisent légèrement moins ce nombre (voir Tableau 33, Figure 20). Les enfants du groupe DDD citent donc rapidement moins d'arguments que ceux des autres groupes. Néanmoins en fin d'entraînement, la majorité des enfans ont fait de même. Cet effet peut être attribué à la répétition de la consigne.

Tableau 33 – Nombre d'élèves (pourcentage) par groupe expérimental par type d'évolution du score FT_{exp} durant l'entraînement

Groupe	Evolution de test1 à test2			Evolution de test1 à test3		
	Régression	Stagnation	Progression	Régression	Stagnation	Progression
DDD	20 (71%)	4 (14%)	4 (14%)	14 (50%)	12 (43%)	2 (7%)
DID	8 (31%)	9 (34,5%)	9 (34,5%)	10 (38,5%)	10 (38,5%)	6 (23%)
IDI	11 (42%)	8 (31%)	7 (27%)	10 (38,5%)	11 (42,3%)	5 (19,2%)
III	10 (38,5%)	9 (34,5%)	7 (27%)	12 (46%)	10 (38,5%)	4 (15,5%)
Total	49 (46%)	30 (28%)	27 (25,5%)	46 (43%)	43 (41%)	17 (16%)

Notes. Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement ; Régression = nombre et pourcentage d'enfants dont le score FT_{exp} diminue ; Stagnation = nombre et pourcentage d'enfants dont le score FT_{exp} se maintient ; Progression = nombre et pourcentage d'enfants dont le score FT_{exp} augmente.

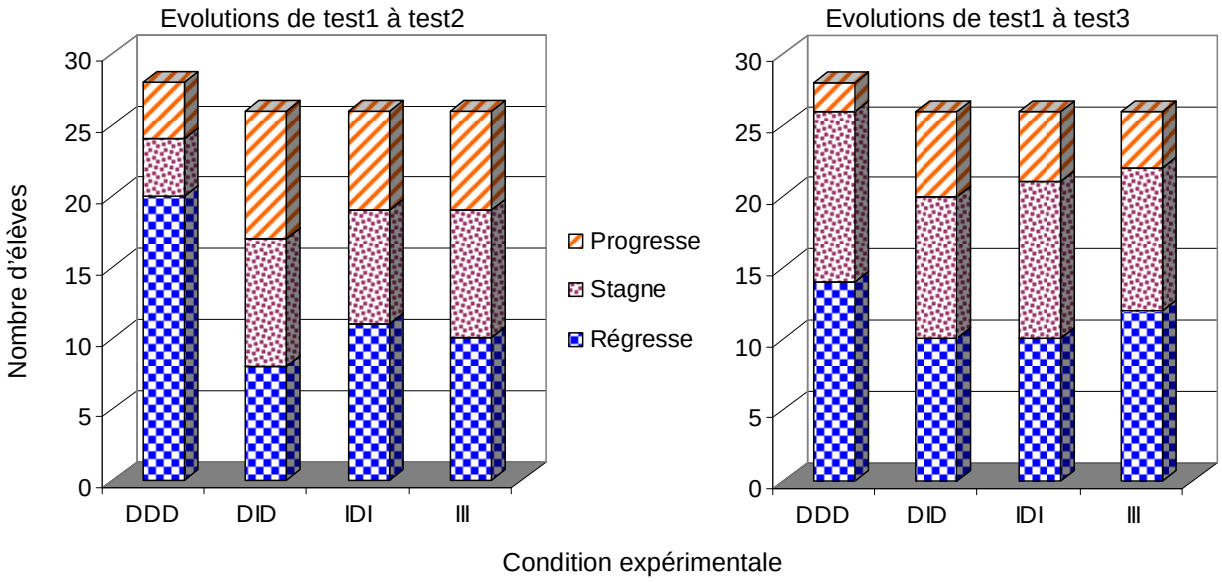


Figure 20 – Nombre d'élèves par groupe expérimental qui régressent, stagnent ou progressent au score FT_{exp} durant l'entraînement

Conclusion sur le nombre d'arguments des explications générales – Globalement, les enfants écrivent de moins en moins d'arguments différents au cours de l'entraînement. C'est notamment le cas pour ceux qui travaillent ensemble régulièrement. Il y a plusieurs pistes explicatives. Ces enfants ont-ils focalisés leurs théories autour d'un petit nombre d'arguments pour donner une meilleure explication ? Ont-ils passé plus de temps à discuter pour se mettre d'accord, qu'à écrire les arguments auxquels ils ont pensé ? Ou ecore ont-ils limité l'activité d'écriture pour faire des observations, des expérimentations ou encore pour discuter ?

8.2.2 – Le nombre facteurs explicatifs en situation individuelle et dyadique

Comparaison du score FT_{exp} entre les quatre groupes temps par temps – On se demande enfin si les situations collectives donnent-elles lieu à davantage d'arguments écrits que les situations individuelles. Nous faisons l'hypothèse qu'en début d'entraînement, les situations collectives amènent à donner davantage d'arguments. Des ANOVA simples ont été effectuées à chaque temps d'entraînement. Elles permettent en outre de faire des comparaisons planifiées afin de savoir si les situations dyadiques (pondérées +1) conduisent les enfants à des explications plus fournies que les situations individuelles (pondérées -1). Aux trois temps de l'entraînement, il n'y a cependant pas de différence significative (n.s). Il n'y a pas de différence du nombre de facteurs explicatifs écrits en situation individuelle et dyadique. Contrairement à nos attentes, le fait de travailler seul ou à deux n'entraîne pas l'écriture de plus d'arguments dans les explications. Qu'est-ce qui peut empêcher les dyades d'écrire plus d'arguments ? Les enfants ne réalisent pas un simple brainstorming car : ils doivent construire une explication avec un petit nombre d'arguments ; ils peuvent rencontrer des problèmes avec certains facteurs ; l'entraînement permet de réaliser de nombreuses activités, ce qui les détourne de la production d'une explication.

8.2.3 – Le nombre de facteurs explicatifs selon que les groupes alternent ou non

De nouvelles comparaisons a priori – Les comparaisons a priori permettent de répondre à la question : le nombre d'arguments dans les explications évolue-t-il différemment si l'enfant alterne des situations individuelles et collaboratives ou s'il demeure dans une de ces situations ? Aux trois temps de l'entraînement, il n'y a pas de différence significative selon que les enfants font partie d'un groupe alternant IDI ou DID ou d'un groupe constant DDD ou III (n.s).
Le nombre de facteurs écrits est relativement identique en fonction des situations.

8.2.4 – L'évolution du niveau conceptuel des explications (score Niv_{exp})

Analyse du niveau conceptuel en fonction du temps et du groupe expérimental – Le score Niv_{exp} permet de capturer la qualité conceptuelle des facteurs utilisés dans les explications générales. Comme pour les explications de pré-test et post-test, nous avons effectué une ANOVA mixte 3 (temps d'entraînement) × 4 groupes expérimental sur le nombre d'enfants qui parviennent aux niveaux IIIA et IIIB, c'est-à-dire dont l'explication montre une intuition de la densité.
• Cette analyse n'indique pas d'effet principal du groupe (*ns*) ou du temps d'entraînement (*ns*). Des analyses non paramétriques plus fines sont proposées ensuite.
• Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction entre le groupe et le temps d'entraînement (*ns*).
Comme en pré-test, il semble qu'une majorité d'enfants donnent des explications de niveau IIIA dans tous les groupes et à tout moment de l'entraînement (voir Tableau 34). Cependant des analyses non paramétriques seraient plus adaptées à ce type de données ordonnées. En l'absence de technique statistique simple et stable pour effectuer ces analyses avec un design expérimental mixte, les analyses suivantes permettent de mieux comprendre l'évolution du score Niv_{exp}.

Tableau 34 – Nombre d'élèves par niveau conceptuel des explications générales (Niv_{exp}) en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement

Temps	Groupe	Niveau de l'explication générale						
		0	I	IIA	IIB	IIIA	IIIB	N
Test1	DDD	0	0	2	0	24	2	28
	DID	0	0	0	8	18	0	26
	IDI	0	0	1	4	18	3	26
	III	0	0	0	5	18	3	26
	Total	0	0	3	17	78	8	106
Test2	DDD	0	0	0	4	22	2	28
	DID	0	1	0	5	19	1	26
	IDI	0	0	0	6	20	0	26
	III	2	1	1	4	15	3	26
	Total	2	2	1	19	76	6	106
Test3	DDD	0	2	0	8	18	0	28
	DID	0	0	0	8	18	0	26
	IDI	1	0	0	3	21	1	26
	III	0	1	0	8	15	2	26
	Total	1	3	0	27	72	3	106

Notes. Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

Evolution du niveau général au sein de chaque groupe : une régression conceptuelle du groupe DDD – Le test de Friedman permet de préciser s'il y a une évolution globale du score Niv_{exp} durant l'entraînement. Il n'y a pas d'effet significatif au cours des trois temps d'entraînement (*ns*) : globalement le temps n'affecte pas le niveau des explications des enfants. Le test de Friedman a ensuite été appliqué pour chaque groupe expérimental afin de déterminer s'il y a des évolutions des conceptions dans certaines conditions expérimentales.

• Ce test est significatif pour le groupe DDD, $\chi 2(2, N = 28) = 7{,}840$; $p = .020$, $d = .57$). L'analyse post-hoc de chaque intervalle de temps à l'aide du test des rangs de Wilcoxon (correction de Bonferroni : $\alpha/3 = .017$) indique seulement une régression significative de test2 à test3 ($p = .01$, unilatéral) : le niveau des explications dyadiques du groupe DDD régresse entre test2 et test3, lorsque ces enfants travaillent ensemble pour la troisième fois consécutive. En test3, il n'y a plus d'enfant de niveau IIIB, le nombre d'enfants de niveau IIIA a diminué de 22 à 18 élèves, et le nombre d'enfants ayant donné des explications de niveau inférieur ou égal à IIB est passé de 4 à 12 enfants.

• Il n'y a pas d'évolution significative du niveau des explications dans les autres groupes (*ns*).

L'analyse au sein de chaque groupe expérimental montre peu d'évolution significative. Les enfants du groupe DDD donnent des explications de légèrement moins bon niveau.

Le niveau des explications à chaque temps de l'entraînement selon le groupe – Un test de Chi2 d'homogénéité est réalisé à chaque temps d'entraînement pour comparer la distribution des niveaux d'explication en fonction du groupe expérimental. Ce test n'indique pas de différence en test1, ni en test2, ni en test3, entre les quatre groupes expérimentaux, du score Niv_{exp} (*ns*). Majoritairement, les élèves produisent des explications de niveau IIIA, c'est-à-dire à l'aide de préconceptions de la densité, en termes de contenu de l'objet ou de poids spécifique à la

matière. Quelques d'élèves sont ensuite de niveau IIB, ou plus rarement de niveau IIA ou IIIB (voir Tableau 34). Les explications des participants restent comparables durant l'entraînement.

Résultats en types d'évolutions – Selon la littérature, l'interaction entre pairs favorise des changements cognitifs qui peuvent être positifs ou négatifs (Tudge, 1989). Les enfants ont été classés selon qu'ils ont progressé, régressé ou ont conservé leur niveau initial. Conformément aux analyses présentées, il apparaît très peu d'évolution des conceptions des enfants, quel que soit le groupe expérimental : environ 65% des élèves conservent leur niveau initial dans tous les groupes (voir Tableau 35).

Tableau 35 – Niveau conceptuel des explications générales et nombre d'élèves qui régressent, se maintiennent et progressent de test1 à test3 par groupe expérimental

Evolution	Groupe expérimental			
	DDD	DID	IDI	III
Progression	IIA ®IIIA : 2	IIB ®IIIA : 2	IIB ®IIIA : 3 IIA ®IIIA : 1	IIB ®IIIA : 2
Stabilité	IIIA : 16	IIIA : 16 IIB : 6	IIIB : 1 IIIA : 15	IIIB : 2 IIIA : 13 IIB : 3
Régression	IIIB ®IIB : 2 IIIA ®IIB : 6 IIIA ®I : 2	IIIA ®IIB : 2	IIIB ®IIIA : 2 IIIA ®IIB : 3 IIB ® 0 : 1	IIIA ®IIB : 5 IIIB ®I : 1
Total	28	26	26	26

Un effet du contexte d'entraînement – Finalement, si les enfants ne progressent pas particulièrement durant l'entraînement, on peut se demander si le contexte soutient de meilleures explications qu'en pré-test. Durant l'entraînement en effet, les prédictions sont suivies de vérification. De plus, des objets et outils sont à disposition. Tout ceci pourrait contribuer à soutenir la pensée des enfants dans l'élaboration de conceptions plus avancées. Un test des rangs de Wilcoxon permet comparer le niveau conceptuel des explications de pré-test et de test1. Ce test indique une différence significative : Z = -3,606, $p < .001$, unilatéral, $r = .35$. Sur les 106 sujets, 11 enfants donnent des explications de niveau inférieur par rapport au pré-test, mais 35 d'entre eux montrent une coneption plus avancée. Dans chaque groupe expérimental, une majorité d'enfants utilise le même niveau de conceptions, quelques enfants progressent durant l'entraînement et peu régressent : groupe DDD, 8 enfants progressent contre 2 qui régressent ; DID, 7 progressent contre 5 ; IDI, 11 progressent contre 3 ; III, 9 progressent contre 1. Les groupes sont globalement comparables dans la distribution des niveaux conceptuels en test1. Le contexte d'entraînement semble avoir un effet général : il soutient l'émergence de meilleures explications générales. Il existe deux interprétations : l'environnement rend saillantes certaines informations et oriente l'enfant vers des explications pertinentes ; ou encore le renouvellement de la tâche permet à l'enfant d'améliorer des conceptions déjà formulées en pré-test.

8.2.5 – Les arguments utilisés dans les explications générales

Intérêt des arguments employés – Les arguments cités dans les explications générales constituent la base pour constituer le score Niv_{exp}. Il est donc intéressant de revenir sur ceux qui sont utilisés pendant l'entraînement. Tout comme durant les phases de pré- et post-test, les arguments les plus largement utilisés sont le contenu de l'objet, la masse de l'objet, la matière de l'objet, et la forme de l'objet. Des ANOVA mixtes 3 (groupe expérimental) x 4 (temps d'entraînement) ont été effectuées pour suivre l'évolution de chacune de ces catégories d'arguments.

Les arguments du contenu et de la matière évoluent peu – L'argument de la matière de l'objet est fréquemment cité par les enfants en test1 (53%), en test2 (53%) et en test3 (50%). Les analyses ne montrent pas d'évolution générale ou spécifique (*ns*). Au cours de l'entraînement, les enfants se réfèrent régulièrement à cet argument. L'argument du contenu de l'objet est souvent utilisé en test1 (56%), en test2 (67%) et en test3 (59%). Cet argument n'évolue pas significativement au cours de l'entraînement (*ns*). Les enfants utilisent régulièrement l'argument du contenu qui peut-être considéré comme une préconception de la densité.

L'argument de la forme diminue généralement – La forme de l'objet est pour nombre d'enfants une variable du phénomène de flottaison. Par exemple, ils écrivent que si l'objet est troué ou s'il n'est pas fermé, l'eau s'engouffre dedans et attire l'objet au fond, ou encore que l'objet est fin et s'enfonce facilement dans l'eau. Une ANOVA mixte 3 (groupe expérimental) x 4 (temps d'entraînement) indique seulement un effet principal du temps d'entraînement, $F(2, 204) = 6{,}056$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .056$: cet argument diminue de test1 ($M = 0.34$; $SD = 0{,}48$) à test2 ($M = 0{,}21$; $SD = 0{,}41$), passant de 33% à 21% de présence dans les explications (Bonferroni, $p = .033$) ; cette diminution a aussi lieu entre test1 et test3 ($M = 0{,}17$; $SD = 0{,}38$) ($p = .006$). En fin d'entrainement, ce facteur n'est présent que dans 17% des productions.

L'argument de la masse évolue selon les groupes expérimentaux – Finalement le facteur masse cité dans le sens conventionnel (les objets lourds coulent) est souvent utilisé par les enfants. Ce type d'argument est important puisqu'il préfigure lui aussi le concept de densité.A plusieurs reprises des résultats précédents ont montré que ce facteur semble poser un problème aux enfants. En effet, ce facteur évolue de manière particulière durant l'entraînement encore une fois. Une ANOVA mixte 3 (temps d'entraînement) × 4 (groupe expérimental) a été effectuée.

• L'analyse indique un effet principal du temps d'entraînement, $F(2, 204) = 12{,}544$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .110$: l'argument de la masse de l'objet diminue de manière importante entre test1 et test2, passant de 72 à 47% de présence dans les explications (Bonferroni, $p = .001$) ; cet effet se maintient entre test1 et test3, où il n'est plus présent que dans 41% des explications (Bonferroni, $p < .001$). L'argument de la masse des objets diminue donc de manière importante, ce qui est un indice important du changement des conceptions des enfants. Cela indique aussi une difficulté qu'ils éprouvent à utiliser ce concept pour expliquer la flottaison dans le contexte proposé.

• Il n'y a pas d'effet principal du groupe expérimental (*ns*)

• Il y a un effet d'interaction entre le groupe expérimental et le temps d'entraînement, $F(6, 204) = 2{,}284$, $p = .034$, $\eta_p^2 = .063$.

L'argument de la masse suit donc une évolution différente selon le groupe expérimental.

L'argument de la masse diminue sauf dans le groupe IDI – Des ANOVA répétées indiquent des évolutions spécifiques à certains groupes.

• Il y a une diminution significative de cet argument pour le groupe DDD, $F(2,54)=8,811$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .246$: cet argument est de moins en moins fréquent de test1 à test2 (Bonferroni, $p = .016$), et cette disparition se confirme entre test1 et test3 ($p < .001$).

• Il y a une évolution significative pour le groupe DID, $F(2, 50) = 5,952$, $p = .005$, $\eta_p^2 = .192$: il y a une diminution de cet argument mais seulement de test2 à test3 (Bonferroni, $p = .015$), et cette diminution se maintient entre test1 et test3 ($p = .015$).

• Il y a une évolution significative pour le groupe III, $F(2, 50) = 3,654$, $p = .033$, $\eta_p^2 = .128$: il y a une diminution temporaire de cet argument en test2 (Bonferroni, $p = .051$), puis cet argument s'établit à un niveau intermédiaire.

• Il n'y a pas d'évolution significative de l'argument de la masse pour le groupe IDI, malgré une légère diminution de test1 à test2, *ns*.

Tableau 36 – Proportions moyenne (écart-type) d'explications générales contenant l'argument de la masse de l'objet en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement

Groupe	Test1		Test2		Test3	
DDD	0,71	(0,46)	0,36	(0,49)	0,29	(0,46)
DID	0,61	(0,50)	0,62	(0,50)	0,23	(0,43)
IDI	0,81	(0,40)	0,54	(0,51)	0,54	(0,50)
III	0,73	(0,45)	0,38	(0,50)	0,62	(0,50)
Total	0,72	(0,45)	0,47	(0,50)	0,42	(0,50)

Notes. Test1 = premier temps d'entraînement ; Test2 = deuxième temps d'entraînement ; Test3 = troisième temps d'entraîinement.

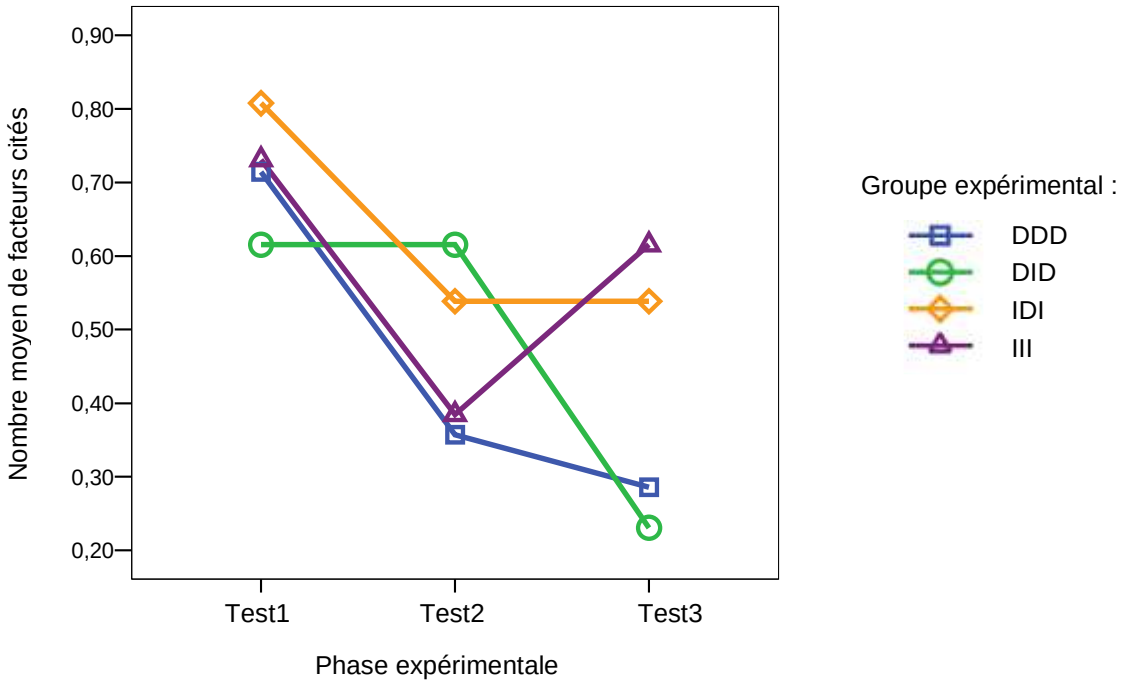


Figure 21 – Proportions d'explications générales contenant l'argument de la masse de l'objet en fonction du groupe expérimental et du temps d'entraînement

Le facteur de la masse selon les situations et selon la succession des situations – Une ANOVA simple a été réalisée à chaque temps d'entraînement pour connaître les différences entre les groupes. Des comparaisons *a priori* permettent de comparer d'une part les performances solitaires (pondérées -1) aux collective (pondérées +1), puis les groupes alternants DID et IDI (pondérés +1) aux non alternant DDD et III (pondérés -1).

• Au temps test1, il n'y a pas de différence significative entre les quatre groupes expérimentaux, *ns* En moyenne 71% des explications produites contiennent l'argument de la masse. Les comparaisons planifiées n'indiquent rien de significatif non plus, *ns*

• Au temps test2, il n'y a pas de différence significative entre les quatre groupes expérimentaux, *ns* En moyenne 47% des explications produites contiennent l'argument de la masse. Il y a une différence entre les groupes alternant ou non, $t(102) = 2{,}131$, $p = .035$: les groupes alternant DID et IDI utilisent davantage l'argument de la masse (respectivement 62% et 54%) que les groupes non alternant DDD et III (respectivement 38% et 36%). Au deuxième temps d'entraînement, les enfants qui restent en situation solitaire ou dyadique utilisent moins la masse de l'objet comme facteur.

• Au temps test3, il y a une différence significative entre les quatre groupes expérimentaux, $F(3, 105) = 4{,}135$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .008$: cette différence oppose en fait les groupes DID et III qui utilisent l'argument de la masse dans respectivement 23% et 62% des explications générales (Scheffé, $p = .041$). Il y a une différence significative entre les explications écrites en dyades (groupes DDD et DID) et celles écrites en solitaires (groupes IDI et III), $t(102) = -1{,}183$, $p = .001$. Le fait de travailler souvent en groupe comme dans le cas du groupe DDD ou DID pourrait conduire les enfants à ne plus utiliser l'argument de la masse des objets, alors que cet argument est davantage maintenu s'ils travaillent souvent en solo, comme dans les groupes IDI et III.

A propos de l'argument de la masse dans les explications générales – L'argument de la masse évolue de manière particulière. Il disparaît des explications de nombreux enfants, dès la deuxième étape d'entraînement. Selon nous, une interprétation possible est que les enfants ne prennent pas la mesure dès le début de l'entraînement du fait que leur conception de la lourdeur ne coïncide pas avec les objets présentés : ils trouvent pour ces objets contradictoires d'autres arguments possibles, et maintiennent donc d'abord l'argument de la masse dans leurs explications, qu'ils travaillent en dyade ou en individuel. Dans les groupes DDD et DID, où plusieurs temps d'entraînement dyadique sont prévus, les partenaires échangent des points de vue sur les objets et peuvent entrer en contradiction sur la conception de la masse. Par contre, les enfants du groupe IDI ne changent pas dans l'utilisation de cet argument, et ceux du groupe III ne le voient diminuer que temporairement. L'absence d'un partenaire pourrait avoir limité cet effet de contradiction et amené le maintien de cet argument dans l'explication générale.

8.2.6 – Conclusion sur les explications durant l'entraînement (hypothèses H7 et H8)

L'évolution des explications générales – Les enfants écrivent de moins en moins d'arguments au cours de l'entraînement. C'est rapidement le cas pour les enfants du groupe DDD. En revanche, ni le fait de travailler seul ou à deux, ni le fait d'alterner ces situations, n'impliquent davantage d'arguments écrits. **L'hypothèse H7 n'est pas confirmée.** Il y a peu d'évolution de la qualité conceptuelle des explications générales. Les enfants, soutenus par le contexte instrumental, donnent des explications générales relativement comparables, qui montrent souvent un début de conception de la densité. **L'hypothèse H8 n'est pas confirmée.**

Les enfants des groupes DDD et DID se détournent davantage de l'argument de la masse de l'objet : les interactions répétées avec un pair pourraient mettre davantage en évidence une ocntradiction de cette variable pour expliquer la flottaison des objets.

8.3 – Conclusion sur les performances durant l'entraînement selon l'articulation des situations

La succession des situations solitaires et/ou collaboratives amène les enfants à quelques différences dans leurs prédictions et explications générales durant l'entraînement.

8.3.1 – Sur les performances prédictives durant l'entraînement

A propos des prédictions – Les prédictions se développent particulièrement pour le groupe IDI dès l'entraînement : ces enfants font davantage de prédictions correctes. Cependant, le développement ne suit pas un cheminement simple : les enfants qui progressent durant l'entraînement ne progressent pas systématiquement en post-test et inversement. De plus en post-test, les progrès mettent parfois un certain temps à apparaître. Certains enfants semblent donc plus rapidement développer la justesse des prédictions, tandis que cela ne se produit que dans un après coup pour d'autres enfants. Ceci rappelle un *effet d'incubation* (Howe et al., 2005). Dans cette recherche, les enfants appréhendent le phénomène physique de multiples façons : ils doivent faire des prédictions, observer, manipuler, justifier, construire des explications générales, se mettre d'accord, etc. La progression différée de la compétence à prédire pourrait s'expliquer par des interactions entre les diverses activités mentales requises. Si l'enfant a développé des prédictions plus ou moins correctes à un moment de l'entraînement, cela a pu avoir des conséquences sur les activités suivantes. Par exemple, des prédictions erronées peuvent avoir des implications sur la manière dont il produit ensuite une explication générale ou interagit avec son partenaire. En retour, ces activités peuvent avoir un effet sur les prédictions suivantes. Au final, il semble donc y avoir un apprentissage, mais qui emprunte des voies très différentes en fonction de la façon dont l'enfant intègre ses performances dans ses activités. Des analyses plus fines et plus poussées seraient nécessaires pour mieux comprendre le cheminement des connaissances de l'enfant.

8.3.2 – Sur les performances explicatives durant l'entraînement

Des changements minimes dans les explications générales – De manière générale, les explications générales ont évolué de manière comparable dans les groupes, par une diminution d'arguments cités. Ces explications restent majoritairement du même niveau conceptuel. Pourtant en post-test, seul le groupe IDI progresse dans le nombre de facteurs cités dans les explications générales. Durant l'entraînement, il n'y a pas d'évolution particulière de leurs explications, sinon le fait qu'ils se détournent moins de l'argument de la masse comme les enfants du groupe III, qui travaillant en situation individuelle. Le progrès particulier des enfants du groupe IDI en post-test pourrait être dû à un autre travail cognitif. Ces enfants ont pu bénéficier du développement

d'autres compétences pendant l'entraînement, notamment les prédictions. Enfin, il est possible que ces enfants aient bénéficié d'une combinaison particulière entre le fait d'enrichir leurs arguments par la rencontre d'un partenaire, et le fait de progresser dans leurs prédictions voire dans d'autres activités telles que l'activité d'écriture d'une explication. Ce dernier point est repris dans le chapitre suivant.

Des évolutions plus fines concernent certains facteurs explicatifs – Mieux connaître les variables citées dans les explications permet de comprendre comment les enfants justifient leurs conceptions, et si certaines sont renforcées ou remises en cause au cours des interactions avec l'environnement matériel et social. Durant l'entraînement, les enfants se détournent généralement de l'argument de la forme et de la masse dans les explications écrites. Surtout, les enfants du groupe DDD et DID citent de moins en moins l'argument de la masse. Les enfants du groupe III s'en détournent aussi mais temporairement. Cette variable ne diminue pas de la même façon pour tous les enfants, mais dépend du fait qu'ils répondent individuellement ou collectivement, et du fait qu'ils alternent ou non les situations individuelles et collectives. Les interactions entre pairs pourraient inciter les enfants, après un certain temps d'entraînement, à ne plus utiliser l'argument de la masse dans leurs explications. Les enfants du groupe DDD pourraient donc davantage se rendre compte des contradictions qu'implique une conception en termes de « masse » ou de « lourdeur » des objets.

Résumé du chapitre 8

L'objectif du chapitre 8 est de rassembler les analyses des performances des enfants durant l'entraînement. Ces analyses indiquent que :

- les prédictions du groupe alternant IDI progressent durant l'entraînement (hypothèse H6 acceptée) ;
- le nombre de facteurs des explications générales des groupes alternants DID et IDI n'évolue pas significativement durant l'entraînement (hypothèse H7 rejetée)
- la qualité conceptuelle des explications générales des groupes alternants DID et IDI n'évolue pas significativement durant l'entraînement (hypothèse H8 rejetée)

Dans les résultats présentés, deux effets sont susceptibles de se concurrencer qui dépendent des situations sociales. D'une part la situation immédiate solitaire ou collective peut avoir des effets spécifiques sur les performances des enfants. Par exemple, ils développent de meilleures prédictions en dyade qu'individuellement. Le travail collaboratif peut permettre aux enfants de produire de meilleures performances. D'autre part, c'est parfois la succession des situations solitaire ou collaborative qui a des effets particuliers. Ainsi, seul puis en dyade puis seul, peut permettre aux enfants de développer des prédictions individuelles.

Cependant l'évolution des performances durant l'entraînement n'est pas directement liée à leur évolution de pré- à post-test. Dans cette recherche comme en situation scolaire naturelle, les enfants réalisent diverses activités pour répondre à un problème posé. Ici, à plusieurs reprises, ils font des prédictions, des vérifications par observation, des manipulations et écrivent des explications générales. Ces performances et activités peuvent interagir les unes sur les autres mutuellement. Le chapitre suivant doit justement permettre de mieux comprendre les activités des enfants, afin d'apporter une interprétation plus cohérente des évolutions cogniives.

Enfin, il a été à nouveau constaté une évolution particulière de l'argument de la masse des objets dans les explications. Cet argument a tendance à être moins fréquemment cité par les enfants dans leurs explications générales dès la deuxième phase de l'entraînement. Cela amène à penser que les enfants ont rencontré durant cet entraînement des expériences sociales ou matérielles qui ont provoqué un conflit avec ce facteur explicatif. Les enfants du groupe IDI y semblent moins sujets.

CHAPITRE 9 – VERS UNE ANALYSE FINE DES ACTIVITES DURANT L'ENTRAINEMENT

Durant l'entraînement, les conduites sont très hétérogènes. Elles expliquent certains changements cognitifs (voir chapitres 7 et 8). Une description générale des conduites est d'abord proposée, portant sur le temps de manipulation des objets ou des outils, et de rédaction d'une explication (9.1). Cela informe sur les pratiques qu'on peut attendre des enfants, en fonction de l'articulation des situations individuelles et collaboratives. La suite du chapitre décrit l'évolution de deux dyades, issues des groupes DDD (9.2) et IDI (9.3). Les actions et conversations permettent de mieux comprendre les difficultés rencontrées et l'évolution des conceptions. Ces analyses illustrent donc les résultats généraux et impliquent des pistes d'interprétation sur le rôle joué par l'articulation des situations solitaires et collaboratives (9.4).

9.1 – Exploration des pratiques durant l'entraînement

A chaque temps, les enfants peuvent s'assigner des tâches différentes pour écrire une explication. En effet, le contexte de l'entraînement permet un éventail de pratiques. Par exemple deux enfants peuvent d'abord discuter, puis observer un objet, puis l'un écrit une explication tandis que l'autre manipule un nouvel objet, etc… Nous avons analysé dans les grandes lignes ces pratiques. Le découpage et le codage des vidéos ont notamment permis de déterminer les objets et outils touchés, et le temps de rédaction de l'explication. Les statistiques descriptives indiquent que les pratiques des enfants évoluent différemment selon qu'ils travaillent régulièrement dans une même situation, ou qu'ils alternent les situations individuelles et dyadiques.

9.1.1 – La manipulation des objets et des outils

Manipuler les objets – Durant l'entraînement, les enfants font des prédictions et des vérifications sur les objets concrets. La manipulation physique de ces objets complète la perception visuelle. De nombreux enfants éprouvent ainsi le besoin de soupeser les objets pour faire leurs prédictions. Lorsqu'ils recherchent une explication, la manipulation des objets permet aussi de faire des expériences. Quels groupes manipulent davantage les objets ?

Effets du temps et du groupe expérimental sur les objets manipulés – Une large majorité des enfants manipule au moins une fois un objet au cours de chaque temps de l'entraînement. Il y a une tendance générale au cours du temps d'entraînement : les enfants touchent moins souvent les objets au test1 (M = 13,2 ; SD = 0,9), qu'ensuite en test2 (M = 18,6 ;

SD = 1,3) et en test3 (*M* = 19,1 ; *SD* = 1,2). Après le premier temps d'entraînement, les enfants manipulent globalement plus souvent les objets. Ceci peut s'expliquer du fait de la répétition de la tâche, et du besoin d'explorer le contexte matériel pour tester les explications précédentes. Les situations sociales jouent ici un rôle. D'abord, le fait de travailler ensemble incite généralement les enfants à recourir aux objets. Cela est vrai en début et fin d'entraînement. Enfin, il existe un second effet : alterner les situations individuelles et collectives favorise l'utilisation des objets. Durant le temps test2 de l'entraînement, les enfants des groupes DID et IDI manipulent davantage les objets que les autres (voir Tableau 37).

Tableau 37 – Nombre moyen (écart-type) d'occurrences de manipulation des objets par groupe expérimental et par temps d'entraînement

Groupe	Temps					
	Test1		Test2		Test3	
DDD	14,88	(9,72)	18,69	(11,52)	23,73	(12,94)
DID	16,62	(11,31)	21,17	(13,89)	20,08	(14,07)
IDI	11,73	(6,83)	20,96	(12,65)	19,12	(11,08)
III	9,73	(6,33)	13,64	(13,34)	13,27	(10,52)
Total	13,32	(9,08)	18,77	(12,98)	19,27	(12,62)

La manipulation des instruments de travail – L'analyse des séquences indique pour chaque période si l'enfant manipule un des quatre outils (balance, aquarium, récipient gradué, pâte à modeler). Ce codage n'indique pas quelles fonctions instrumentales sont utilisées. En effet chaque outil peut être utilisé de manière très différente voire créative. Par exemple, la pâte à modeler est parfois utilisée pour lester des objets, parfois pour être directement testée dans l'eau après avoir été déformée ou découpée, parfois pour assembler des objets différents, et parfois pour créer un objet de même forme qu'un autre objet. Nous cherchons uniquement à savoir si certains groupes expérimentaux utilisent davantage les outils que les autres.

Effets du temps et du groupe expérimental sur les outils utilisés – Dans tous les groupes expérimentaux, une majorité d'enfants utilisent au moins un outil à chaque temps d'entraînement, en situation individuelle ou collective. Les analyses suivantes montrent des différences dans la quantité d'interactions avec ces outils selon le moment de l'entraînement, la situation sociale, et l'alternance des situations. On cherche à comparer la fréquence des contacts avec les outils selon le groupe expérimental et le temps. Il y a peu d'évolution au sein des groupes DDD et III. Dans le groupe IDI, les contacts instrumentaux progressent en test 2 (*M* = +10,1) et diminuent en test3 (*M* = -8,0). Il n'y a pas de différence significative entre test1 et test3. Dans ce groupe, le travail en dyade soutient l'utilisation de médiations instrumentales. Dans le groupe DID il y a une légère progression en test 2 alors que les dyades d'enfants se séparent pour travailler en solo (*M* = +3,3), et une diminution en test3 quand ils se regroupent (*M* = -8,4) (voir Tableau 38).

Tableau 38 – Nombre moyen (écart-type) d'occurrences d'utilisation des quatre outils (balance, aquarium, pâte à modeler, récipient) par groupe expérimental et par temps d'entraînement

Groupe	Temps					
	Test1		Test2		Test3	
DDD	23,23	(14,95)	20,62	(14,14)	20,04	(13,35)
DID	26,71	(15,52)	30,04	(17,36)	21,58	(12,80)
IDI	15,54	(11,33)	25,69	(15,41)	17,73	(11,16)
III	15,55	(12,58)	13,72	(13,65)	13,32	(11,89)
Total	20,32	(14,34)	22,72	(16,12)	18,30	(12,51)

Conclusion sur le rôle de la situation collective – Les enfants ont-ils recours à des expériences matérielles pour élaborer une explication générale ? La situation sociale immédiate joue un rôle important sur les interactions que nouent les enfants avec leur environnement matériel. En situation dyadique, les enfants ont tendance à manipuler davantage les objets et à utiliser davantage les outils. L'interaction entre les enfants les encouragerait à faire des expériences concrètes. Par exemple, un enfant cite un objet creux contenant de l'air, et appui son propos par le geste en présentant à l'autre une boîte. Ceci peut aussi s'expliquer par un effet d'émulation à toucher et utiliser des objets. Par exemple, un enfant prend un objet et le soupèse, et l'autre l'imite. En s'appuyant sur l'objet, la dyade dispose alors d'une attention conjointe sur un aspect matériel de l'environnement qui sert de point de rencontre des cognitions. Ce renforcement des pratiques sur les objets et outils par la situation collective peut donc s'expliquer du fait que les enfants s'appuient sur le matériel fourni pour se comprendre.

Conclusion sur le rôle de l'alternance des situations – Après le premier temps d'entraînement, les enfants des groupes alternant DID et IDI manipulent davantage les objets et les outils qui leurs sont proposés. L'alternance des situations favorise l'utilisation des objets et outils : dans le groupe IDI, il y a un renforcement de ces médiations par l'expérience de groupe; dans le groupe DID, il y a un renforcement par un temps solitaire. Le changement de situation sociale amènerait les enfants à recourir davantage aux médiations matérielles et instrumentales.

9.1.2 – L'écriture de l'explication générale

Des pratiques scripturales des enfants – Le langage est un élément central pour comprendre l'évolution de la pensée Les chercheurs utilisent régulièrement l'écrit. Ici, en situation individuelle comme en situation dyadique, les enfants doivent communiquer à l'expérimentateur leurs conceptions de la flottaison à travers l'écriture d'une explication. Même en situation solitaire, les enfants doivent donc créer un discours. Les situations individuelles et collectives peuvent aussi transformer le travail d'écriture. Nous étudions le temps accordé à l'écriture de l'explication générale durant l'entraînement, selon que les enfants travaillent seuls ou à deux, ou en alternant les situations.

Effets du temps d'entraînement et du groupe expérimental – Nous avons uniquement relevé les périodes où chaque apprenant rédige concrètement. La question posée est : dans quel groupe expérimental l'écriture de l'explication générale est-elle renforcée ? Il y a une diminution globale du temps passé à l'écriture après le premier temps d'entraînement, notamment de test1 (M = 11,27 ; SD = 7,79) à test2 (M = 9,10 ; SD = 7,81) ou de test1 à test3 (M = 9,35 ; SD = 7,14). Cet effet général est particulièrement visible pour les enfants qui travaillent constamment dans la même situation sociale (groupes III ou DDD). Comme constaté avec les objets et outils, la répétition de la tâche pourrait amener les enfants à explorer davantage l'environnement matériel et à délaisser en partie l'activité d'écriture de l'explication générale. De plus, à chaque temps de l'entraînement, il y a une différence du temps d'écriture selon que la situation est individuelle ou collective. Les enfants dépensent deux à trois fois plus de temps à écrire en situation solitaire qu'en situation dyadique. Le travail solitaire favoriserait le processus d'écriture de l'explication générale, tandis que le travail en dyade limiterait ce temps. La présence d'un temps de travail

individuel semble une condition favorable pour que l'enfant entre durablement dans un processus d'écriture (voir Tableau 39, Figure 22)

Tableau 39 – Durée moyenne (et écart-type) de l'activité d'écriture de l'explication générale par groupe expérimental et par temps d'entraînement.

Groupe	Temps		
	Test1	Test2	Test3
DDD	6,04 (4,75)	5,31 (4,71)	5,23 (4,39)
DID	5,54 (4,75)	11,67 (7,29)	5,54 (5,21)
IDI	16,54 (6,91)	6,58 (4,80)	12,77 (6,15)
III	17,45 (5,12)	13,77 (7,81)	14,32 (7,75)
Total	11,27 (7,79)	9,10 (7,81)	9,35 (7,14)

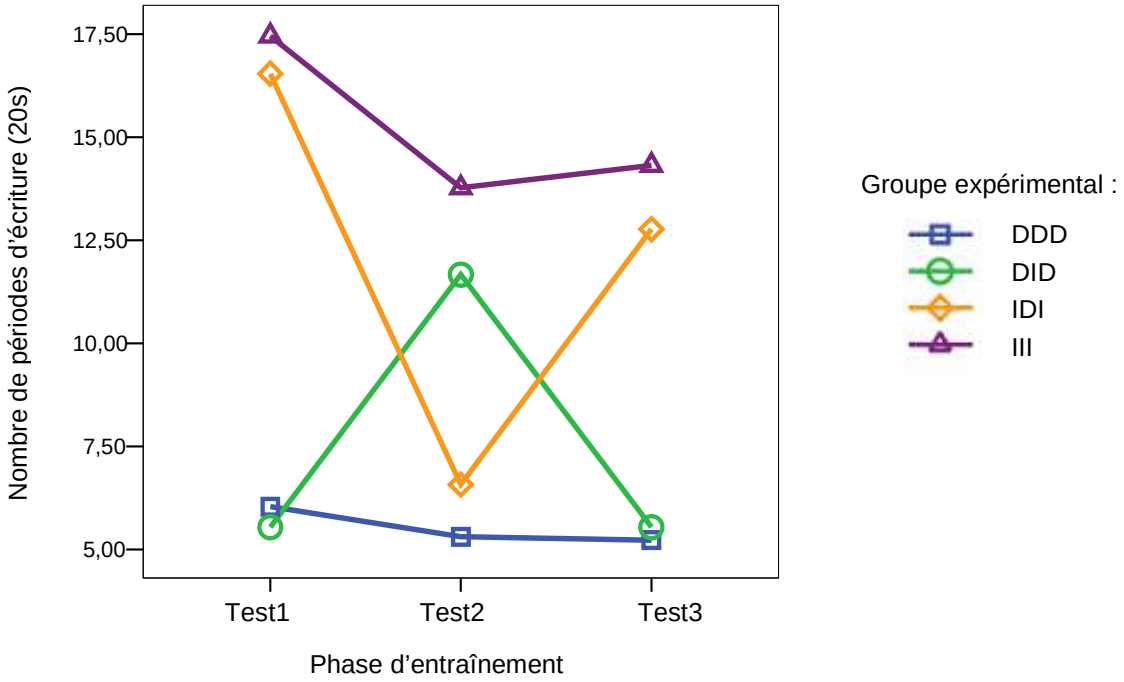


Figure 22 – Durée moyenne de l'activité d'écriture de l'explication générale par groupe expérimental et par temps d'entraînement

La situation solitaire favorise la pratique de l'écrit – Il y a un effet important tout au long de l'entraînement du type de situation sociale immédiate : placés en situation dyadique, les enfants ont tendance à prendre moins de temps pour écrire leur explication dans les dyades. Il ne peut s'agir uniquement de division du travail car les individus en solitaire consacrent près de trois fois de leur temps à l'écriture que les enfants en dyade. La situation solitaire implique donc pour ces enfants une attention plus grande à l'écriture de l'explication. L'alternance des situations n'a en revanche pas d'incidence sur le temps accordé à l'écriture de l'explication générale : dans les groupes alternant (IDI et DID), le temps passé par les enfants à écrire une explication change de manière importante selon la situation immédiate.

9.1.3 – Conclusion sur les pratiques des enfants

Effet de la situation immédiate sur les expériences matérielles – Il est important de déterminer si les activités des enfants sont identiques selon le groupe expérimental. Outre des évolutions générales dues à la reprise de la tâche, deux effets socio-cognitifs se superposent durant l'entraînement. Le premier effet réside dans la situation immédiate, qui peut être solitaire ou collective, et qui contraint l'activité. Le temps passé par les enfants à manipuler les objets et outils est fonction de la situation sociale : les situations collaboratives incitent les enfants à manipuler les outils et les objets. Sans doute, les manipulations d'un enfant incitent-elles le partenaire à manipuler lui aussi, ou encore les partenaires se sollicitent mutuellement. Les enfants peuvent alors faire des manipulations individuelles et des manipulations coordonnées. L'activité instrumentale est renforcée du fait d'un travail en dyade plutôt que d'un travail solitaire. Ce premier effet se retrouve aussi dans la pratique d'écriture, favorisé par la situation individuelle.

Effet de la succession des situations sur les expériences matérielles – Il existe un second effet, de la succession de situations solitaires et collaboratives sur les pratiques empiriques. En effet, les deux groupes alternants manipulent de plus en plus les objets et outils. C'est le cas lorsque les apprenants se séparent pour travailler seul (groupe DID) ou se rassemblent pour travailler en dyade (IDI). Alterner les situations solitaires et collectives favoriserait l'activité matérielle. L'interaction entre pairs, qui soutient le recours aux objets et outils, peut se prolonger en situation solitaire : lorsqu'ils se séparent après un travail collectif, les enfants continuent de manipuler fréquemment les objets et outils (groupes DID et IDI). Le groupe DID est particulièrement représentatif de cet effet. Ces enfants commencent par travailler en dyade, en s'engageant fortement dans leur contexte matériel. Au moment de travailler seuls, ils utilisent les outils de manière plus importante encore. Le travail individuel après un travail collectif favoriserait donc l'utilisation des objets et outils. On peut supposer une appropriation de l'espace instrumental. Une autre raison serait que le travail de groupe stimule les manipulations concrètes, mais les limite aussi en partie. En effet, les actions d'un enfant peuvent contraindre celles de son partenaire. Se séparer permet ainsi à l'enfant de réaliser les activités matérielles qu'il souhaitait réaliser personnellement.

Effet de la succession des situations sur l'écriture – L'écriture de l'explication occupe particulièrement les enfants lorsqu'ils travaillent seuls, bien qu'ils ne développent pas de meilleures explications (voir 8.2). On peut suspecter des différences dans les processus cognitifs. Les enfants en situation solitaire se concentreraient davantage sur l'explication générale. Au contraire, les enfants du groupe DDD resteraient davantage concentrés sur leurs activités matérielles, et sur des justifications particulières. Ceci expliquerait que ces derniers ne progressent que dans les justifications en post-test. A contrario, les enfants du groupe IDI écrivent plus d'arguments dans leurs explications générales en post-test. Le temps de collaboration pourrait leur avoir permis d'enrichir leur point de vue, et le travail solitaire en début et fin d'entraînement, qui renforce la pratique de l'écriture, pourrait favoriser l'appropriation d'arguments personnels ou partagés préalablement. De plus, si les enfants écrivent davantage, ils manipulent moins les objets et outils. Le fait d'écrire limite donc les enfants dans leur confrontation à des phénomènes matériels complexes. Cette situation individuelle et cette pratique d'écriture pourraient aider les enfants à proposer une explication générale, en laissant de côté les contradictions perçues dans les échanges entre pairs et avec le contexte matériel.

9.2 – Analyse d'une dyade d'enfants du groupe DDD

Nous avons analysé le parcours d'une dyade d'enfants, choisie aléatoirement dans le groupe DDD, où une évolution cognitive particulière a été repérée. Il s'agit de deux filles, Emi (âge : 10;3) et Lae (âge : 9;11) (sujets 101 et 102 respectivement). Nous étudions l'évolution les performances et les activités de ces enfants (Pour les livrets de réponse, voir Annexe Q).

9.2.1 – Des conceptions initialement contrastés

Des problématiques différentes – Les enfants ont des conceptions initiales différentes. Cette différence est particulièrement visible autour de la notion de masse de l'objet. Selon nous, elles savent déjà toutes deux que la masse des objets n'explique pas de manière univoque et universelle la flottaison. Chacune a choisi un ajustement conceptuel particulier. Pour Emi, la masse est un argument important, mais dont l'influence n'est pas clairement définie, pouvant jouer sur la flottaison dans un sens ou dans l'autre. Par exemple, parfois l'objet coule parfois du fait qu'il est lourd, parfois du fait qu'il est léger. Pour Lae, la masse ne sert pas à justifier les réactions des objets ou à expliquer le phénomène. Cet argument ne semble pas recevable pour elle. Elle dispose sans doute de contre-exemples, en particulier pour réfuter l'idée que la lourdeur de l'objet implique qu'il coule (le lourd coule, le léger flotte). Ses propos durant l'entraînement confirment cela. Lae concentre ses propositions initiales sur le contenu et la matière de l'objet.

9.2.2 – Les performances d'Emi en pré-test

Les prédictions et justifications d'Emi en pré-test – Emi réalise quatre prédictions correctes sur six. Pour ses justifications, elle atteint le niveau modal IIIA. Elle fait preuve de préconceptions de la densité, car elle justifie soit avec l'argument du contenu de l'objet, soit avec les arguments combinés de la masse et de la matière de l'objet. Par exemple, l'éponge coule car elle *« détient l'eau »* et la boule de pétanque coule car *« c'est lourd et cela ne détient pas d'air »*. Pourtant l'argument de la légèreté fait dire à cet enfant que l'objet coule quand cet objet est présenté concrètement, et qu'il flotte s'il est seulement évoqué. Par exemple, le dé et le trombone en plastique coulent car l'objet est *« léger »*, mais la pomme de terre coule car *« elle est lourde »*. Cette double utilisation indique qu'elle dispose de deux conceptions de la « lourdeur » de l'objet.

L'explication générale d'Emi en pré-test – L'explication générale d'Emi est la suivante : *« Certains objets flottes car soit ils absorbent l'eau, soit ils ont de l'air à l'intérieur. D'autres coulent car ils sont trop légers ou qu'ils n'absorbent pas l'eau ou alors encore qui non pas d'air à l'intérieur »*. Elle utilise trois arguments différents et parvient à un niveau IIIA d'explication du fait qu'elle s'appuie sur le contenu de l'objet comme préconception de la densité. Elle présente des catégories générales d'objets, selon qu'ils flottent ou coulent, et leurs attribue certaines propriétés. Ainsi les objets peuvent flotter ou couler pour des raisons différentes. Emi présente une conception erronée de la masse (le lourd flotte et le léger coule).

9.2.3 – Les performances de Lae en pré-test

Les prédictions et justifications de Lae en pré-test – Lae réalise quatre prédictions correctes sur six. Le niveau modal de ses justifications est intermédiaire entre IIB et IIIA : elle se concentre sur l'argument du contenu et parfois sur le matériau de l'objet. Ainsi, le dé coule car *« il n'est pas plein d'air »* et le flacon flotte car *« il est plein d'air »*. Elle cite une fois l'argument de la masse, combiné à un autre argument : la boule de pétanque coule car *« c'est lourd et c'est rempli »* (argument de la masse et du contenu de l'objet).

L'explication générale de Lae en pré-test – En guise d'explication, Lae écrit : *« Certains objets placés dans l'eau flottent si l'objet contient de l'air ou de l'eau. Certains objets placés dans l'eau coulent car si c'est rempli cela ne flotte pas. Attention le métal ou le fer vide coule aussi car l'air ne peut pas le faire flotter »*. Elle cite quatre arguments (contenu en air, contenu en eau, autre contenu, matière) et parvient à un niveau IIIA d'explication car elle s'appuie sur le contenu de l'objet. Lae montre une conception en fonction du contenu de l'objet avec la particularité que l'eau ou l'air contenus dans l'objet peuvent le faire flotter. Elle utilise des catégories générales d'objets et distingue ceux qui flottent et ceux qui coulent. Enfin l'énoncé d'une exception au principe permet d'intégrer des contradictions. L'argument de la masse semble évacué de sa compréhension du phénomène.

9.2.4 – Les conduites de collaboration durant l'entraînement

Intérêt d'étudier le groupe DDD durant l'entraînement – Dans cette dyade, il est aisé de suivre la pensée des enfants à travers leurs discussions. La réintroduction des conversations dans la recherche, permet de mieux comprendre les contraintes rencontrées. L'analyse fine des temps d'entraînement montre de nombreuses contradictions, souvent relevées par les enfants, et face auxquelles elles élaborent des stratégies. Nous avons découpé chronologiquement les interactions entre les enfants et avec leur environnement, en fonction des contradictions rencontrées.

9.2.5 – Premier temps d'entraînement (test1)

La prédiction et la vérification de trois objets – Lae et Emi se mettent d'accord et prédisent correctement la réaction d'une bille en verre, d'une boîte en bois et d'une coupelle.

Une première séquence de mise en commun – Après une courte réflexion individuelle, les enfants proposent à tour de rôle des arguments pour chaque objet. Ces arguments changent au fur et à mesure des objets : Lae propose que la boîte en bois flotte si elle contient de l'air ; pour Emi, la coupelle coule car l'eau la *« retient »* ; Lae propose que les objets *« ouverts »* coulent ; Emi propose que la coupelle est lourde. Il y a une tentative pour co-élaborer des justifications en juxtaposant les arguments. Mais, Lae contredit l'idée de lourdeur (elle mobilise peu cet argument en pré-test). Elle utilise à nouveau le contenu de l'objet, indiquant que l'objet est rempli et qu'il ne contient pas d'air. Les deux enfants prennent enfin la bille en verre : Lae constate que l'objet contient de petites bulles d'air. L'observation amène une nouvelle contradiction avec sa propre proposition : les objets contenant de l'air doivent flotter, et la bille, qui coule, ne devrait pas

contenir d'air. Pour évacuer cette contradiction, Lae considère que les bulles d'air sont petites. Elle plonge à nouveau la bille dans l'aquarium pour vérifier sa réaction.

Une deuxième séquence d'observation et d'expérimentation – Les enfants continuent d'explorer le contexte. Elles pèsent d'abord la bille avec la balance. Lae veut peser la boîte en bois et fait une hypothèse : *« On va voir si ça, ça pèse plus lourd… Si c'est une question de poids »* ; Emi pèse la boîte et Lae relève la contradiction : *« Donc c'est plus lourd mais ça flotte quand même »*. Le fait qu'un objet lourd coule et qu'un plus léger flotte, révèle un problème. Son hypothèse est infirmée. Pour Emi cet argument peut être employé dans les deux sens, d'après ses réponses de pré-test. Aussi, elle ne relève pas la contradiction, mais propose une autre solution : *« parce qu'il y a de l'air »*. Selon elle, il ne faut pas tenir compte de la masse, ou bien il existe une raison plus importante. Mais Lae s'oppose à cette justification. Elle fait alors une hypothèse pour la coupelle : *« Par exemple, ça, je ne sais pas si c'est plus lourd »*. Elles pèsent la coupelle qui est plus lourde que la boîte. Seule Lae semble gênée par cette observation qui renforce encore la contradiction à propos de la masse des objets : c'est parfois un objet lourd, parfois un objet léger qui coule. Ici, l'objet le plus lourd (la coupelle) et l'objet le plus léger (la bille) coulent, mais pas l'objet présentant une masse intermédiaire (la boîte). Emi plonge la coupelle dans l'aquarium et remarque que l'eau engloutit l'objet : elle dépasse la contradiction en négligeant la masse des objets et en focalisant sur le contenu de l'objet. Lae poursuit cependant sur la contradiction : *« Oui mais c'est lourd donc… c'est comme la bille en fait. La bille est lourde »*. Les enfants se confrontent donc à des observations et mesures qui contredisent l'idée que les objets lourds coulent et les légers flottent. Seule Lae semble troublée tandis qu'Emi propose d'autres arguments. Lae suggère de considérer que la bille, qui pèse 20g, et la coupelle, qui pèse 100g, sont lourds, et que la boîte, qui pèse 60g, est légère. Le concept de lourdeur est donc transformé pour adhérer aux observables. Ce changement n'a sans doute pas lieu pour Emi qui disposait déjà initialement d'une conception instable du rôle de la masse.

Une troisième séquence de synthèse – Les enfants veulent écrire une explication. Elles reprennent leurs argumentations : pour Lae, le contenu en air fait flotter les objets (négligeant l'observation de bulles dans la bille) ; Emi reprend l'idée de considérer que la coupelle et la bille sont lourdes (négligeant la pesée effective des objets) ; Lae poursuit que l'eau peut pénétrer dans l'objet et le faire couler. Mais elle demande une autre justification pour la bille : Lae rejette l'argument de la lourdeur, apparemment gênée par la contradiction entre cet argument et la pesée qui montre que les autres objets sont plus lourds et que l'un flotte. Lae abandonne et propose à Emi d'écrire à propos de la boîte et de son contenu d'air.

Une quatrième séquence d'observation et d'expérimentation – Lae explore à nouveau l'environnement à propos du rôle de la masse : elle pèse la boule de pâte à modeler, qui est plus lourde que les trois objets. Elle ne fait pas clairement d'hypothèse mais précise : *« Je ne sais pas si ça flotte »*. La boule de pâte coule rapidement dans l'aquarium. Emi propose : *« c'est lourd en fait »*. La vitesse à laquelle l'objet a plongé, et le fait que la boule soit pesante confirme pour les enfants que les objets coulent d'autant plus qu'ils sont lourds. Elles font donc appel à une autre conception naïve selon laquelle un objet s'enfonce d'autant plus vite dans l'eau qu'il est lourd (le physicien explique cela par la densité et la forme des objets). La boule de pâte à modeler vient s'ajouter aux observations des objets qui coulent et considérés comme lourds. Le doute parait dissipé : elles acceptent l'idée que les objets lourds coulent.

Une cinquième séquence de synthèse et d'écriture – Lae et Emi se mettent d'accord sur une explication générale. Emi écrit que les objets qui flottent sont fermés et remplis d'air. Elles négocient un moment la formulation d'une *« explication générale »*. Pour Lae, l'explication doit être écrite de manière certaine ; pour Emi, cette explication peut être nuancée. Emi écrit finalement un des arguments avec l'adverbe *« souvent »* et l'autre sans cet adverbe, ce qui représente une solution consensuelle. Lae propose que les objets qui coulent *« sont parfois ouverts et lourds »*. Au moment d'écrire, elle choisit à son tour une formulation incertaine, précisant qu'elle n'est pas sûre que ces arguments suffisent. Emi pèse à nouveau la bille, la boîte et la coupelle pendant que Lae écrit.

Une dernière séquence de contradiction – Pendant que Lae écrit, Emi relève plusieurs fois une contradiction, toujours relative à la masse de l'objet, utilisant à nouveau la vitesse d'immersion de l'objet. Alors qu'elle ne semblait pas accorder d'importance aux contradictions repérées par Lae sur la masse, elle indique : *« Pourtant la bille ça fait pas tant que ça par rapport à la coupelle et ça tombe d'un coup. C'est ça qui est drôle »*. Elle reformule, mais Lae ne relève pas ces remarques. Finalement, Lae contourne la contradiction par l'argument du contenu de l'objet : *« Oui mais puisqu'il n'y a pas d'air ça peut pas flotter »* ; Emi acquiesce. Cette contradiction montre une difficulté à utiliser la réaction des objets pour justifier leur masse.

L'explication du temps test1 – Au final, les enfants ont écrit l'explication suivante : *« les objets qui flottent sont fermés et souvent plein d'air. Les objets qui coulent sont parfois ouverts donc l'eau les englouti. Certains objets coulent car ils n'ont pas d'air à l'intérieur »*. Cette explication contient trois arguments (contenu en air, en eau et forme de l'objet) et est de niveau IIIA, ce qui indique une préconception de la densité. Dans cette séquence, on peut voir de nombreuses contradictions relevées par les deux enfants, entre leurs propositions, entre leurs propositions et les observations, entre leur façon de concevoir une explication générale.

9.2.6 – Deuxième temps d'entraînement (test2)

La prédiction et la vérification de trois nouveaux objets – Lae et Emi prédisent ensemble la réaction d'une cuillère, d'une bougie et d'un stylo. Elles prédisent que la bougie coule mais cela est infirmé par l'observation. Cet objet va focaliser leur attention.

Une première séquence d'exploration et de contradiction – Lae et Emi constatent d'abord que leur prédiction pour la bougie est contredite. Elles cherchent pourquoi elles ont fait cette prédiction. Elles pèsent la bougie, le stylo, et la cuillère. Mais Lae indique que la balance n'est pas pertinente pour expliquer les réactions : *« Je ne sais pas à quoi ça sert de peser »* ; elle rappelle leur constat précédent selon lequel la masse pesée ne permet pas une explication univoque. Elle soupèse alors la cuillère et la bougie, un objet dans chaque main : la main permet ici d'appréhender les objets différemment de la balance, pour les comparer en même temps. Malgré cela, Lae et Emi ne parviennent pas à justifier la réaction de la bougie. Il semble y avoir une contradiction entre ce qui est perçu de la bougie et sa réaction dans l'eau.

Une deuxième séquence de contradiction – Les enfants s'appuient sur les deux objets non problématiques (la cuillère et le stylo) pour construire une explication générale. Elles mobilisent les arguments du contenu, de la masse, et de la matière combinés à la masse, concernant la

cuillère. Emi montre à nouveau une conception de la masse selon laquelle le lourd coule et le léger flotte. Lorsqu'elle redit que la cuillère est lourde, Lae manifeste un doute. Elle cherche à comparer la masse du stylo à autre chose : *« C'est plus lourd que… »*. Cet effort de mise en relation et de comparaison constitue une sorte de contradiction : un objet peut s'avérer plus ou moins lourd par rapport à un autre objet ou selon les personnes. Il s'agit donc d'un effort de décentration en vue de quantifier intensivement les objets les uns par rapport aux autres, plutôt qu'en suivant l'affichage de la balance. Lae veut relativiser la masse du stylo et de la cuillère, mais Emi propose à nouveau que la légèreté justifie la flottaison. Il y a donc une contradiction.

Une troisième séquence d'articulation des arguments – Les enfants s'appuient sur la cuillère pour co-élaborer une explication générale. D'abord selon Lae, le fer en tant que matériau, implique que l'objet coule. Elle précise ensuite en tapant la cuillère *« ça sonne rempli »*. Ema propose de manière synthétique *« les cuillères sont donc remplies de métal »*. Lae propose une autre formulation : *« le métal n'est pas vide »*. Elle tente ici d'articuler le matériau et le contenu de l'objet : le matériau impliquerait plus ou moins du contenu. Il s'agit d'une nouvelle préconception de la densité : certains matériaux sont plus remplis que d'autres, selon Lae. Emi continue de juxtaposer les arguments du contenu et du matériau. Face à la difficulté d'exprimer autrement son idée, Lae et Emi se mettent d'accord sur le fait que le contenu en air et le matériau de l'objet jouent un rôle dans la flottaison. Lae fait face dans cette séquence, à un conflit entre deux explications. Elle retient enfin l'explication commune.

Une quatrième séquence de discussion, d'écriture, et de relecture – L'explication reprend sur le rôle des matériaux. Lae écrit que les objets en métal *« ne contiennent pas d'air »* et pour la cuillère elle propose que *« le métal c'est dur »*. Les enfants discutent de la bougie et tentent à nouveau de trouver une raison à sa flottaison. Elles prennent appui sur le stylo : les objets en plastique ne coulent pas car ils contiennent de l'air. Leur explication appréhende à nouveau les objets à l'aide du matériau et du contenu. Finalement, elles reprennent la bougie et cherchent encore une explication, notamment par le contenu de l'objet. Elles sont revenues à la contradiction initiale de cet entraînement : la bougie flotte sans raison apparente : pour elles, l'objet est plein et lourd, et le matériau est mal identifié. Elles relisent enfin leur explication.

L'explication du temps test2 – Les enfants ont écrit l'explication suivante : *« les objets en métal ne flottent pas car ils ne contiennent pas d'air. Les objets en plastique comme les stylos ne coulent pas car entre la mine et le plastique qui recouvre l'objet il y a une couche d'air »*. Cette explication contient deux arguments (matière et contenu) et est de niveau IIIA du fait d'une préconception de la densité. Les échanges verbaux relevés permettent de mieux comprendre l'explication produite. Derrière les matériaux cités, se cache en fait une tentative pour caractériser la contenance des objets. Il s'agit d'une nouvelle préconception de la densité, sans l'argument problématique de la masse, mais en citant des matériaux différents.

9.2.7 – Troisième temps d'entraînement (test3)

La prédiction et la vérification de trois nouveaux objets – Lae et Emi se mettent d'accord pour prédire la réaction, à chaque fois correctement, d'une boîte en métal, d'une pomme et d'un trombone en métal.

Une première séquence de discussion et d'écriture – Les enfants discutent des nouveaux objets. Pour Emi, la boîte flotte *« parce qu'il y a de l'air »*. Lae ajoute une quantification : *« puisqu'il y a plus d'air… »*. Emi reformule : *« il y a plus d'air que de métal »* . Les enfants sont donc d'accord sur leurs propositions. Pendant que Lae écrit cela, Emi explore les objets. Le poids de la pomme affiché par la balance lui révèle une contradiction entre le fait qu'un objet soit lourd et le fait qu'il flotte. Lae admet que la pomme est lourde. Emi reconnaît la contradiction entre sa conception et l'observation : la pomme est comme la bougie, un objet qui flotte, bien qu'elle soit pesante et pleine. Les enfants tentent conjointement de justifier la flottaison de la pomme, en vain. Finalement, Emi détourne l'attention des enfants vers un nouvel objet, ce qui évite de solutionner la contradiction à propos de la pomme. Elle observe le trombone : *« ça coule parce que c'est petit et puis il ne contient rien comme les objets métalliques »* ; puis *« le métal ça coule parce qu'il n'y a pas d'air »* ; enfin *« il n'y a rien qui peut contenir de l'air dans un trombone »*. Puis elle tente d'employer l'idée formulée par Lae au temps test2, de définir une contenance spécifique selon le matériau.

Une deuxième séquence d'observation d'un objet problématique – Les activités des enfants sont distinctes mais complémentaires. L'une écrit et suit les réflexions de sa partenaire ; inversement, l'autre complète l'explication par d'autres propositions. D'abord, Lae observe une nouvelle contradiction à propos de la pomme, en faisant le lien avec leur explication précédente : cet objet flotte alors qu'il ne contient pas d'air. Plutôt que de corriger l'explication, elle corrige son observation : l'objet flotte et doit donc contenir de l'air. Elle consolide cette déduction en remarquant une cavité : *« On dirait qu'il y a de l'air au niveau du trognon »*. La supposition de Lae permet de mettre l'observation en conformité avec les explications. Cependant, elle cherche d'autres preuves du contenu de la pomme. Plongée dans l'aquarium, la pomme ne montre pas d'expulsion de bulles d'air dans l'eau, et semble pleine lorsqu'on la tape contre la table. Emi reste attentive aux remarques de Lae, et écrit pendant ce temps à propos des objets qui coulent, comme le trombone. Lae fait une comparaison entre la pomme et l'éponge observée en pré-test : la pomme flotterait du fait qu'elle contient de l'eau ; Emi confirme l'analogie en termes de contenance d'eau. Lae renforce cet argument en rappelant que les pommes sont parfois juteuses. Cette proposition est intégrée dans l'explication écrite par Emi : *« car ils ne peuvent pas détenir de l'air et de l'eau »*.

Une troisième étape d'observation et de manipulation – Les enfants n'ont pas eu d'observation directe du contenu de la pomme. Un nouveau problème est de savoir si la pomme flotte du fait de l'air ou bien du fait de l'eau, qu'elle pourrait contenir. Comme auparavant, Lae relativise les arguments : l'eau peut remplacer l'air. Emi poursuit : *« Mais est-ce que c'est plus… ou est-ce que c'est plein d'eau ? »*. A ce moment, Emi transforme le problème et doute de la contenance en air : *« je ne comprends pas comment il pourrait y avoir de l'air qui y rentre »*. Lae propose que des cavités peuvent contenir de l'air ; Emi rejette cet argument car l'eau rentre dans les cavités de la pomme. Les deux enfants s'accordent finalement sur l'idée que la pomme est juteuse. Elles ont accepté l'idée qu'un objet flotte parce qu'il contient de l'air voire de l'eau.

Une quatrième étape de lecture et de reprise d'une contradiction – Les partenaires lisent leur explication, et confirment à tour de rôle les propositions. Emi reprend la contradiction précédente à propos du contenu de la pomme : « *je ne sais pas si c'est un problème de jus ou d'air »*. Lae propose un raisonnement logique basé sur l'appartenance à la classe des fruits : *« c'est un fruit donc ça contient de l'eau »*. Emi désapprouve et Lae apporte à sa place un contre-

exemple selon lequel d'autres fruits ne contiennent pas d'eau : *« mais la banane, y a pas d'eau dedans »*. Si la pomme a de l'eau, ce n'est donc pas du fait qu'il s'agit d'un fruit. Il y a dans cet échange une stratégie d'infirmation pour trouver des contre-exemples, et pas seulement des preuves confirmatoires.

Une cinquième étape de discussion – Emi cite la bougie, comme objet critique rencontrée au temps test2. L'objet est à présent encore davantage source de contradiction puisqu'il flotte lui aussi, bien qu'il ne contienne manifestement ni air, ni eau. L'explication par le contenu en air ou en eau est donc à nouveau remise en cause. Lae propose que c'est la ficelle ou la matière qui l'a fait flotter : *« Ca peut ne pas être… une faute d'air ou d'eau, mais peut-être une faute de matière »*. Les deux enfants restent sur cette proposition en fonction de la matière de l'objet. C'est le seul argument qu'elles trouvent à l'encontre de leur proposition basée sur le contenu en air ou en eau. Elles constatent leur échec à expliquer le phénomène par ce nouvel argument.

L'explication du temps test3 – Les enfants ont écrit l'explication suivante : *« les boîtes en métal contiennent plus d'air que de métal. Les objets comme le trombone coulent car ils ne peuvent pas détenir de l'air et de l'eau »*. Cette explication contient trois arguments (matière, contenu en air, contenu en eau) et est de niveau IIIA. Cette explication part d'un objet et de son matériau pour présenter une conception du contenu. Un rapport est établit entre les éléments qui composent l'objet, ce qui permet d'expliquer qu'un contenu d'eau ou d'air dans l'objet doit être suffisant pour que l'objet flotte. Il s'agit d'un nouvel effort pour utiliser le contenu comme préconception de la densité, sans utiliser la masse.

9.2.8 – Les performances d'Emi en post-test immédiat et différé

Les prédictions et justifications d'Emi en post-test immédiat – En post-test immédiat, Emi réalise trois prédictions correctes sur six. La justesse des prédictions diminue donc. Ses justifications sont aussi légèrement moins avancées, avec un score CL de 32 et un score FT de 11 arguments cités. Le niveau modal est intermédiaire entre IIB et IIIA, car elle oscille entre des préconceptions de la densité, avec l'argument du contenu de l'objet, et des conceptions plus simples par la masse ou la matière. Par exemple, la bille coule car elle *« n'a pas d'air à l'intérieur »*, mais l'élastique flotte car *« il est léger »* et les clés flottent *« grâce à la matière »*. Après l'entraînement, l'argument de la masse de l'objet est encore utilisé dans les deux sens pour les objets concrets : l'objet peut couler ou flotter du fait de sa légèreté.

L'explication générale d'Emi en post-test immédiat – L'explication écrite par Emi est la suivante : *« Certains objets flottent car ils ont de l'air à l'intérieur d'autres flottent parce qu'ils ont une matière flotante ou parce qu'ils sont légers. Certains objets coule car ils n'ont pas d'air à l'intérieur, d'autre ont une matière qui les fais couler »*. Elle mobilise trois arguments et reste de niveau IIIA du fait qu'elle s'appuie sur le contenu de l'objet : les objets peuvent flotter ou couler du fait de l'air contenu ou de la matière. Elle ajoute donc l'argument de la matière et adhère à une conception univoque et conventionnelle du rôle de la masse.

Les prédictions et justifications d'Emi en post-test différé – Emi progresse en post-test différé en réalisant cinq prédictions correctes sur six. Ses justifications ont aussi progressé et donnent un score CL de 34 et un score FT de 16 arguments cités ; le niveau modal des

justifications est ainsi de niveau IIIA. En effet, elle utilise souvent des préconceptions de la densité, en fonction du contenu de l'objet ou de la masse et de la matière combinées. Par exemple, la bouteille à moitié pleine flotte car *« elle n'est pas complètement pleine »* et l'ancre coule car cet objet *« est lourd et en fer »*. Cependant, Emi est encore ambivalente sur le rôle de la masse des objets concrets. Ainsi l'élastique coule car il est *« léger »*.

L'explication générale d'Emi en post-test différé – Emi écrit : *« Certains objets flottent car ils ont de l'air et une matière qui a tendance à flotter. D'autres objets coulent car ils sont léger ou lourd et n'ont pas d'air »*. L'explication mobilise trois arguments et est toujours de niveau IIIA car elle s'appuie sur le contenu de l'objet. Elle conserve l'argument de la matière de l'objet, développé en post-test immédiat. Surtout, elle indique comme en pré-test une conception ambiguë de la masse pour expliquer la flottaison.

9.2.9 – Les performances de Lae en post-test immédiat et différé

Les prédictions et justifications de Lae en post-test immédiat – En post-test immédiat, Lae perd en justesse des prédictions, et progresse légèrement en justification. Elle réalise trois prédictions correctes sur six. Ses justifications donnent un score CL de 37 et un score FT de 12 arguments ; elles atteignent le niveau modal IIIA. Elle utilise régulièrement l'argument du contenu de l'objet qui indique une préconception de la densité. Par exemple, le santon coule car *« il n'y a pas d'air »* et la bouteille remplie d'eau flotte car *« il y a de l'eau dedans »*. L'argument de la masse de l'objet n'est plus cité.

L'explication générale de Lae en post-test immédiat – Lae explique ainsi le phénomène : *« Certains objets flottent car soit il y a de l'air dedans, soit il y a de l'eau dedans, soit la matière flotte. Certains objets coulent car soit c'est rempli donc il n'y a pas d'air ou d'eau, soit c'est vide mais c'est en métal et c'est lourd donc l'air ou l'eau ne peux pas faire flotter l'objet »*. L'explication mobilise six arguments (contenu en eau, contenu en air, autre contenu, matière, masse, force) et reste de niveau IIIA. Elle est plus structurée qu'en pré-test. En effet, elle intègre des combinaisons du contenu de l'objet avec d'autres arguments comme le matériau et la masse. La masse, qui a disparu des justifications, continue à jouer un rôle secondaire dans l'explication.

Les prédictions et justifications de Lae en post-test différé – Lae a finalement régressé en prédiction et progressé en justification. Lae fait trois prédictions correctes sur six correctement. Ses justifications donnent un score CL de 40 et un score FT de 16 arguments cités ; elles atteignent le niveau modal IIIB. Elle a à présent une certaine conception de la densité. Elle utilise un argument nouveau et pertinent, la densité de l'objet. Par exemple, la pièce de monnaie coule car *« c'est du métal dense »*. Cet argument ne signifie pas forcément un rapport de la masse au volume, mais plutôt une certaine compression de la matière. Il s'agit d'une avancée conceptuelle importante. Après quelques semaines, Lae mobilise encore souvent le contenu, la matière et la masse de l'objet. Par exemple, la balle flotte car *« c'est en plastique et il y a de l'air dedans »* et l'ancre coule car *« c'est lourd, dense et c'est du métal »*.

L'explication générale de Lae en post-test différé – Lae écrit : *« Certains objets coulent car ils sont denses, ils sont lourds, ils sont plein d'eau, ce sont du métal. D'autres flottent car : ils sont vide, ils sont léger, ou ce sont du caoutchouc, ce sont de la cire »*. Elle cite donc cinq

arguments (contenu en eau, autre contenu, matière, masse, densité). L'explication montre donc aussi une avancée conceptuelle et est de niveau IIIB du fait de l'argument de la densité. Lae continue de juxtaposer des arguments, et d'indiquer des exceptions possibles selon les matières.

9.2.10 – Conclusion sur une dyade du groupe DDD

Une évolution typique – Cette dyade est relativement typique du groupe DDD. Les prédictions évoluent peu. Les justifications progressent en quantité et qualité des arguments. Leurs conceptions conservent finalement des points de divergence. Emi a enrichi ses explications avec l'argument de la matière. Lae a quant à elle enrichi ses explications avec l'argument de la masse. Cette évolution va plus loin : en post-test différé, elle ajoute l'argument de la densité de l'objet dans ses explications et ses justifications, indiquant que l'objet est plus ou moins compressé. L'enfant est à présent prêt à passer à un nouveau problème : définir formellement cette compression (avec la masse et le volume).

L'élaboration fréquente de contradictions – La diversité des objets amène une complexité importante pour élaborer l'explication générale. Ces enfants se montrent capables de focaliser leur attention sur des expériences qui s'opposent à leurs conceptions. Elles dépensent beaucoup d'énergie à essayer de comprendre des objets problématiques, comme la bougie et la pomme, même si occasionnellement elles concluent à une modification de leur observation. Ces contradictions s'imposent parfois de l'extérieur, dans leurs conduites exploratoires spontanées. Mais ces enfants se montrent aussi capables de faire naître des contradictions. Par exemple, elles peuvent prendre des objets pour tester des hypothèses ou des prédictions, ou rechercher des objets problématiques dans les séances préalables et dans leurs souvenirs. La rencontre des cognitions individuelles dans un environnement matériel déjà riche, multiplie l'émergence de contradictions. Ceci n'implique pas que les enfants s'en saisissent. Ces contradictions ne sont prises en compte qu'en fonction de leurs capacités à définir leurs propres conceptions et à se décentrer pour percevoir une conception différente du partenaire.

Des pratiques socio-cognitives complexes durant l'entraînement – Durant l'entraînement il y a une sophistication des conduites et des raisonnements. Par exemple, ces enfants mettent en place des stratégies de déduction et d'induction pour tester leurs hypothèses ou conceptions. Elles modifient régulièrement leurs propositions, et parfois les observations réalisées, afin d'atteindre une certaine cohérence entre les conceptions et les faits décrits. L'étude de cas montre surtout la richesse des interactions socio-cognitives entre pairs et avec les médiations matérielles (explorer un environnement, utiliser des outils, interagir avec autrui…). Les enfants passent peu de temps sur la rédaction de l'explication générale (voir Tableau 40).

Tableau 40 – Récapitulatif des activités de la dyade Flo-Noe durant l'entraînement

Activités	Temps					
	Test1		Test2		Test3	
	Lae	Emi	Lae	Emi	Lae	Emi
Temps de manipulation d'objets	20%	23%	71%	82%	48%	24%
Temps de manipulation d'outils	17%	23%	4%	11%	7%	14%
Temps d'écriture	17%	23%	18%	25%	14%	17%

Notes. Lae, Emi = enfants suivis dans le groupe DDD.

Un enchaînement de situations structurant ? – Durant l'entraînement, les enfants s'appuient sur les objets et sur les outils, pour élaborer une explication commune. Cette richesse des contradictions dans l'interaction sociale peut être perçue comme un accélérateur de l'élaboration cognitive, ce qui a des effets en post-test sur les justifications. Cependant, elle peut aussi être un frein à l'élaboration d'une explication synthétique. En effet, les enfants passent du temps à reformuler des justifications autour d'objets particuliers. L'exploration en collaboration peut impliquer un manque de temps pour synthétiser une explication générale. La rencontre des cognitions amène ici un enrichissement conceptuel avec une logique d'accumulation des arguments.

9.3 – Analyse d'une dyade d'enfants du groupe IDI

Le parcours d'une dyade, choisie aléatoirement dans le groupe IDI, a aussi été analysé. Il s'agit de deux filles, Flo (11;3) et Noe (11;2) (sujets 315 et 316 respectivement). Nous étudions chronologiquement l'évolution des performances et des activités en mettant en évidence les contradictions nées durant l'entraînement (Pour les livrets de réponse, voir Annexe R).

9.3.1 – Des conceptions distinctes en pré-test

Deux problématiques différentes au départ – Dans leurs justifications de pré-test, les enfants indiquent d'abord que la lourdeur de l'objet explique la réaction. Toutes deux effectuent rapidement des ajustements conceptuels, mais qui diffèrent. Flo remplace ou combine peu à peu cet argument avec celui du contenu de l'objet, tandis que Noe le remplace ou le combine peu à peu avec celui de la matière de l'objet. Elles montrent donc toutes deux que la masse des objets n'explique pas de manière simple la flottaison des objets.

9.3.2 – Les performances de Flo en pré-test

Les prédictions et justifications de Flo en pré-test – Flo réalise quatre prédictions correctes sur six. Ses justifications obtiennent un score CL de 34 et un score FT de 14 arguments cités ; le niveau modal de ses justifications est ainsi intermédiaire entre IIB et IIIA. En effet, elle fait parfois preuve de préconceptions de la densité, avec l'argument du contenu de l'objet, ou les arguments combinés de la masse et de la matière. Par exemple, la boîte en bois flotte car *« elle contient de l'air »* et la clé coule car *« le fer est trop lourd »*. Les justifications semblent construites a posteriori des prédictions qu'elles visent. En effet, elle prend au fur et à mesure en compte les incohérences entre ses justifications et les objets nouveaux. C'est pourquoi elle commence par utiliser l'argument de la masse de l'objet comme un facteur absolu, puis qu'elle relativise son rôle avec l'argument du contenu de l'objet. Finalement, elle prend le temps d'écrire qu'elle ne peut pas expliquer les derniers objets : elle est arrivée à un nouvel état d'incertitude.

L'explication générale de Flo en pré-test – En guise d'explication générale, Flo écrit : *« Il y a de l'air à l'intérieur de l'objet. C'est ce qui le fait flotait. L'air le rend plus l'eget »*. Elle parvient à un niveau IIIA d'explication du fait qu'elle s'appuie sur le contenu de l'objet comme préconception de la densité. Elle présente l'argument qui semble finalement décisif selon elle : le contenu altère la lourdeur de l'objet. Cependant, cet enfant ne considère pas la masse au sens du physicien, puisque cet objet devrait peser davantage avec l'ajout d'air.

9.3.3 – Les performances de Noe en pré-test

Les prédictions et justifications en pré-test – Noe réalise quatre prédictions correctes sur six. Pour ses justifications, elle obtient un score CL de 42 et un score FT de 20 arguments cités. Le niveau modal de justification est intermédiaire entre IIB et IIIA. En effet, elle fait parfois preuve de préconceptions de la densité en citant le contenu de l'objet. Par exemple, la balle flotte car *« c'est léger il y a de l'air dedans et le plastique flote il ne laisse pas rentrer l'eau »*. Comme Flo, elle commence par justifier en utilisant l'argument de la masse de l'objet : le crayon est léger et la pomme est lourde. Mais la bille en verre a une masse voisine de celle du crayon, et elle prédit que l'objet coule : elle propose alors que cet objet coule du fait de sa matière. Pour l'objet suivant, une boîte en bois, elle utilise l'argument de la masse, quelle n'a donc pas abandonné. Plus tard, elle combine les deux arguments. Noe prend donc en compte l'incohérence de l'argument de la masse, et le relativise par la matière de l'objet.

L'explication générale de Noe en pré-test – Comme explication générale, Noe écrit : *« Il y a des objets qui l'aisse rentré l'eau donc ils coulent. D'autre ne l'aisse pas passer l'eau donc ils flotent »*. L'explication est de niveau IIIA car elle s'appuie sur le contenu de l'objet comme préconception de la densité. Dans cette explication, Noe considère uniquement le contenu en eau. Selon une conception en fonction de la masse, l'objet rempli d'eau doit peser davantage et couler. C'est peut-être pourquoi Noe ne se réfère plus ici à la lourdeur de l'objet.

9.3.4 – Les conduites d'une dyade alternante durant l'entraînement

Intérêt d'étudier le groupe IDI durant l'entraînement – L'analyse des activités de deux enfants fournit des pistes pour expliquer l'évolution des performances du groupe IDI. Cependant, il est difficile de connaître l'activité mentale en situation solitaire, car les enfants ne s'expriment pas verbalement. Nous avons découpé chronologiquement les séquences de l'entraînement.

9.3.5 – Premier temps d'entraînement (test1)

La prédiction et la vérification de trois objets – Flo et Noe font solitairement trois prédictions, sur un élastique, un domino et une boîte en fer. Flo commet une erreur, et Noe en commet deux.

Une première séquence d'observation à distance et d'écriture – Les enfants restent assises durant deux périodes (soit quarante secondes). Noe regarde les objets et la balance, puis

commence à écrire : *« Ils coulent car… »*. Flo regarde vers les objets, et s'apprête aussi à écrire. Il est difficile de savoir si elles comparent les objets, ou cherchent des facteurs explicatifs, ou encore pensent à des contradictions. Elles semblent chercher une formulation.

Flo reste concentrée sur l'activité d'écriture et d'observation – Durant la suite de cet entraînement, il est difficile de décrire la pensée de Flo. Elle oscille entre une activité de rédaction et une activité d'observation des objets à distance. Son attention semble souvent focalisée sur la boîte en fer. Il s'agit d'un objet volumineux et lourd par rapport aux autres objets, cependant il flotte. Elle explique d'abord que cet objet contient de l'air, puis que la matière peut aussi avoir un rôle. Après avoir manipulé le domino, elle ajoute encore que *« si une boîte ouverte prend l'eau elle coule »*. Le contenu de l'objet permet de décrire une situation dynamique où l'objet peut flotter puis couler. Enfin, elle propose une autre explication : l'élastique coule car il n'a *« pas de face »*. Ceci sous-entend qu'il offre peu de surface en contact avec l'eau, mais aussi qu'il n'est pas un contenant. Cet enfant n'a finalement considéré dans son explication que deux des objets, pour lesquels elle a fourni une prédiction correcte, sans se soucier du domino pour lequel elle a fait une prédiction incorrecte.

Deuxième séquence, Noe étudie la réaction de l'élastique – Noe manipule d'abord l'élastique. Il s'agit du seul objet pour lequel elle a fait une prédiction correcte. Or cet objet est petit, souple et léger, mais il coule. Puis elle pèse successivement le domino, l'élastique et la boîte. Enfin, elle manipule la boule de pâte à modeler, le domino et l'élastique. Elle écrit : *« ils coulent car ils sont plus lourds que l'eau »*. Cette explication générale met en rapport la masse de l'objet et une masse ou quantité d'eau indéfinie. Elle observe l'élastique et le domino : l'élastique est léger mais il coule, ce qui va à l'encontre de l'explication. Il y a une contradiction entre son explication et la légèreté de l'élastique, confirmée par la balance.

Troisième séquence, Noe étudie la réaction du domino – Noe écrit ensuite à propos du domino, qui entre en contradiction avec son explication puisqu'il est léger mais qu'il flotte. Elle justifie par un nouvel argument la réaction de cet objet : *« le domino est plat il flotte bien »*. Ce constat est courant chez les enfants : plus l'objet ou la main oppose une surface de contact importante à l'eau, plus l'eau donne l'impression d'une résistance. Pour cet objet particulier, elle a donc changé d'explication, ce qui constitue une exception à l'explication.

Quatrième séquence, Noe étudie la réaction de la boîte – Ensuite, Noe observe et pèse la boîte. A nouveau, cet objet qui est le plus lourd des trois, révèle une contradiction : il s'agit de l'objet le plus lourd, donc le plus susceptible d'être *« plus lourd que l'eau »*. Or, il flotte. Après de nombreuses hésitations, Noe écrit que *« les boîtes en fer léger flotte »*. Elle propose donc un nouvel argument pour cet objet problématique, en termes de matière et de légèreté. Elle semble dire que ce métal peut être lourd ou léger selon les cas.

Cinquième séquence, Noe complète sa proposition initiale – Noe vient de trouver une solution pour un objet lourd mais qu'elle considère comme léger. A contrario, elle doit pouvoir expliquer que le domino ou l'élastique sont légers d'après la balance, mais coulent. La contradiction persiste donc entre la proposition générale et l'observation. Elle insère alors à la suite du principe général, le constat qu'il n'est pas systématique : *« même si les objets sont légers ils peuvent couler »*. Certains objets peuvent être plus lourds que l'eau et couler, bien qu'ils

soient légers de manière absolue. Chez cet enfant, la lourdeur de l'objet peut s'estimer de manière relative ou absolue.

Les explications du temps test1 – A la fin de cette étape, Noe a écrit : *« Ils coulent car ils sont plus lourd que l'eau. Même si les objet sont léger ils peuvent couler. Le domino est plat, il flotte bien. Les boîte en fer léger flotte »*. L'explication, de niveau IIIB, contient quatre arguments (forme de l'objet, masse par rapport l'eau, masse de l'objet, masse et matière de l'objet). Elle met notamment en relation la masse de l'objet et la masse de l'eau comme préconception avancée de la densité. Flo a écrit : *« Il y a au moins de l'air à l'intérieur ou s'est la matière qui flotte. Si une (boîte) ouverte prend l'eau elle coule. Un élastique coulent car il y a pas de face et il y a pas d'air à l'intérieur »*. L'explication contient quatre arguments (contenu en air, contenu en eau, matière et forme de l'objet) et est de niveau IIIA, du fait de l'argument du contenu. Dans cet entraînement, chaque enfant part d'un objet prédit correctement et définit une explication générale ; puis elle tente d'appliquer cette conception aux autres objets et proposent des conceptions particulières qui constituent des exceptions.

9.3.6 – Deuxième temps d'entraînement (test2)

La prédiction et la vérification de trois nouveaux objets – Flo et Noe sont réunies pour cette étape d'entraînement. Elles se mettent d'accord et prédisent correctement, la réaction d'un trombone, d'une bouteille à moitié remplie et d'une bouteille remplie.

Une première séquence d'accord et d'écriture d'une explication – Les enfants se mettent rapidement d'accord sur le rôle du contenu d'air de l'objet : Noe montre la boîte ; Flo désigne la partie vide de la bouteille à moitié pleine**.** L'accord est donc trouvé et Flo écrit: *« Quand il y a de l'air à l'intérieur ça flotte »*. Noe relit.

Une deuxième séquence d'accord – Flo prend l'élastique, le trombone et la boîte en fer et propose, comme précédemment, que certains objets ont *« une face »*, tandis que d'autres en ont peu. Elle présente en exemple une bouteille à moitié pleine, qui a une importante surface de contact avec l'eau et qui flotte. Noe acquiesce, prend l'élastique et reformule : *« c'est vide »*. Cet argument peut à la fois désigner le fait que l'objet n'a pas de surface, ni de contenance. Flo objecte : *« une boîte aussi c'est vide, mais ça coule pas »*. Noe insiste cependant en pointant le fond de la boîte comme surface, et précise que *« ce n'est pas vide là »*. Flo accepte alors la proposition de Noe. Il s'agit ici d'une contradiction de points de vue. En effet, avec l'utilisation d'un mot, les enfants avoir à l'idée des facteurs physiques différents, ce qui implique de distinguer les acceptions ou les concepts, et de négocier le sens des mots. Cette négociation se poursuit dans la rédaction de l'explication. Noe écrit enfin que les objets qui coulent n'ont pas de *« face »*.

Une troisième séquence de contradiction – Les enfants commencent une nouvelle exploration, en prenant les bouteilles comme support au raisonnement. Chacune pèse une bouteille tandis que l'autre relève au brouillon le poids affiché par la balance. Les deux bouteilles ont une masse importante, mais l'une coule et l'autre flotte. Elles se saisissent ensuite d'un élastique et d'un trombone, qui coulent bien qu'ils soient plus légers. Selon Flo la réaction de l'objet a lieu « *qu'il soit léger ou pas léger »* ; Noe confirme. Il y a donc un rejet commun de la

variable lourdeur. Les enfants poursuivent avec les bouteilles : Flo indique que la bouteille à moitié pleine est plutôt lourde mais qu'elle flotte. Elles constatent alors que l'objet est à moitié rempli d'eau et à moitié rempli d'air. Elles font chacune une expérience : Flo prend la bouteille à moitié pleine, la remplit d'eau et observe qu'elle coule dans le bac ; Noe fait de même avec la boîte métallique. D'un commun accord, elles écrivent : *« Quand on rempli un objet, il coule car il n'y a plus d'air à l'intérieur »*. La contradiction née de l'argument de la masse est donc éliminée. Cet argument est remplacé par celui du contenu.

Une quatrième séquence de contradiction – La boule de pâte à modeler leur donne l'idée d'une nouvelle exploration. Flo propose de la mettre dans la boîte, pour comprendre le rôle du contenu des objets. Noe pèse la boule et la boîte séparément, tandis que Flo note leurs poids ; enfin Noe dépose la boule dans la boîte et place la boîte dans l'aquarium : elle flotte. A tour de rôle, les enfants formulent une explication et Florine écrit: *« Quand il y a quelque chose de solide dans la boîte, ça flotte »*. Elles tentent ensuite deux nouvelles expériences : mettre la bouteille pleine dans la boîte en fer, puis dans le récipient gradué. Il est difficile de voir dans les échanges un raisonnement suivi. Pour Noe, si l'objet déposé est plus lourd que le contenant, alors l'agglomérat coule. Elle confronte en quelque sorte le poids des éléments pour savoir lequel va imposer sa réaction à l'autre. Le contenu désigne surtout la possibilité de contenir des éléments, plutôt qu'une certaine compression de l'objet.

L'explication du temps test2 – L'explication écrite est la suivante : *« Quand il y a de l'air à l'intérieur, ça flotte. Quand ça coule, ça n'a pas de face. Quand on rempli un objet qui flotte il coule car il n'y a pas d'air à l'intérieur. Quand il y a quelque chose qui coule dans la boîte il flotte. »*. Cette explication, de niveau IIIA, contient trois arguments (forme, contenu en air, autre contenu). L'explication est bien de type général. En revanche, les enfants juxtaposent trois principes généraux. Les enfants ont surtout travaillé sur la contradiction née de l'argument de la masse, qu'elles ont remplacé par celui du contenu. Elles abordent aussi le problème d'objets complexes, qui prend en compte la contenance et les éléments contenus de l'objet. Il ne s'agit donc pas simplement d'évoquer une certaine compression de la matière. Elles ont dépassé quelques contradictions soulevées par la confrontation des points de vue.

9.3.7 – Troisième temps d'entraînement (test3)

La prédiction et la vérification de trois nouveaux objets – Les enfants prédisent séparément la réaction d'une gomme, d'un dé et d'une coupelle. Noe réalise deux prédictions correctes mais prédit à tort que le dé flotte. Flo ne réalise aucune prédiction correcte.

Une première séquence d'observation et d'écriture – Les enfants manipulent des objets. Flo qui n'a pas réalisé de prédiction correcte, reprend le domino confié au premier temps d'entraînement. Elle le manipule et l'observe un instant, puis écrit : « *Quand ils sont pleins et lourd ils coulent* ». Cet objet lui paraît plein mais assez léger pour flotter. Noe commence par prendre et peser successivement la gomme, le dé et la coupelle, en notant au brouillon leur masse. Elle écrit finalement : « *Souvent les objets qui coulent font + de 0g mais pas tout le temps* ». En effet la balance affiche *« 0 »* pour les objets inférieurs à 2 grammes. Or, le dé et la gomme coulent mais pas la coupelle qui est pourtant plus lourde. La proposition de Noe resterait contradictoire, si elle ne la relativisait pas sur la fin.

Une deuxième séquence d'expérimentation et d'écriture – Flo observe et pèse le dé, puis pèse ensemble le domino et le dé. Elle écrit : « *Quand ils sont vide à l'intérieur ils flote* ». Elle observe les objets et ajoute une troisième proposition : *« Quand ils sont pleins est légé ils flote… ».* Flo enchaîne donc des propositions générales qui combinent l'argument du contenu et de la masse de l'objet. Durant cette séquence, Noe reprend l'idée d'étudier le contenu en plaçant des objets les uns dans les autres : elle met d'abord le dé dans la boîte qu'elle place dans l'aquarium, puis elle fait de même avec la gomme. La boîte flotte à chaque fois. Noe inscrit une proposition générale, présentée comme absolue : « *Si on met un objet qui coule avec un objet qui flote dedans il flote tout le temps ».*

Une troisième séquence d'expérimentation et d'écriture – A plusieurs reprises, Flo relit son explication et regarde les objets. Elle complète sa deuxième proposition en évoquant la lourdeur de l'objet, et corrige sa troisième proposition. Enfin elle ajoute une quatrième et dernière proposition : *« Quand ils sont pleins est lourds ils coulent aussi ».* Elle est donc quasiment parvenue à écrire les quatre cas de figure qui se posent dans un raisonnement à deux variables dichotomiques, selon que l'objet est lourd ou léger, et plein ou vide. Ce raisonnement serait achevé si la première et la quatrième proposition n'étaient pas identiques, concernant les objets pleins et lourds. Pendant ce temps, Noe poursuit son investigation sur le contenu des objets. Elle observe l'aquarium et les objets, et se concentre sur la coupelle. Elle écrit alors : « *Le plus souvent c'est les objets remplis qui coulent* ». Il s'agit à nouveau d'une proposition générale mais qui est relativisée. La coupelle sert de support à cette proposition : en effet, posée à plat, l'objet flotte, mais posée de biais, la coupelle se remplit et coule.

Une quatrième séquence d'expérimentation et d'écriture – Flo relit ses explications. Pendant ce temps, Noe s'intéresse toujours à des agglomérats d'objets. Ceci lui permet d'estimer quel contenu peut modifier la réaction de l'objet. En superposant les objets les uns sur les autres, elle cherche à nouveau une façon d'estimer la réaction d'un objet complexe : elle pose le domino sur la gomme, et les dépose dans l'aquarium ; les objets se séparent et réagissent indépendamment. Elle écrit donc : « *Si on met un objet qui flotte sur un objet qui coule il se sépare selui la qui flotte flotte et l'autre coule* ». Les deux enfants terminent cet entraînement en relisant leurs explications.

Les explications du temps test3 – Flo a écrit : « *Quand ils sont pleins et lourd ils coulent. Quand ils sont vide à l'intérieur et lourd, ils flote. Quand ils sont pleins est légé ils coulent. Quand sont pleins et lourd ils coulent aussi ».* L'explication produite contient deux arguments (autre contenu et masse) et est de niveau IIIA. Noe a écrit : *« Souvent les objets qui coulent font + de 0g mais pas tout le temps. Si on met un objet qui coule avec un objet qui flote dedans il flote tout le temps. Le plus souvent c'est les objets remplis qui coulent. Si on met un objet qui flotte sur un objet qui coule il se sépare selui la qui flotte flotte et l'autre coule ».* L'explication produite contient deux arguments (masse et autre contenu) et est de niveau IIIA, du fait que l'argument du contenu. Les enfants ont donc poursuivis séparément leur réflexion commune sur le contenu des objets. Plutôt que de repérer les contradictions de chaque variable, elles font des combinaisons de variables ou bien d'objets.

9.3.8 – Les performances de Flo en post-test immédiat et différé

Les prédictions et justifications de Flo en post-test immédiat – Flo réalise quatre prédictions correctes sur six. Ses justifications donnent un score CL de 46, un score FT de 20 arguments cités. Flo utilise davantage d'arguments en post-test immédiat pour justifier ses prédictions. Ses justifications, de niveau modal IIA, atteignent un meilleur niveau qu'en pré-test. L'argument de la masse de l'objet apparaît parfois, mais toujours combiné avec d'autres arguments tels que le contenu. Par exemple, la pièce coule car elle est *« trop lourd et il n'y a pas d'air à l'intérieur »*. Elle utilise souvent d'autres arguments, notamment celui du contenu et parfois celui de la matière de l'objet. Ainsi, le flacon flotte car il est *« rempli d'air »* et l'ancre coule car *« c'est du fer et c'est gros »*.

L'explication générale de Flo en post-test immédiat – Flo explique : *« Quand il n'y a pas d'air à l'intérieur est qu'ils sont pleins ils sont lourds dont l'eau ne peut pas les suporté. Si il y a de l'air (et un petit objet à l'intérieur) il flotte. Quand il y a pas d'air il y a des objets qui flote mais je ne sais pas pourquoi. L'air remonte vers le haut comme une bouteille d'eau »*. L'explication est de niveau IIIA du fait qu'elle s'appuie sur le contenu de l'objet. Flo enrichi sa conception en mobilisant davantage d'arguments, qu'elle enchaîne de différentes manières pour évoquer des types d'objets.

Les prédictions et justifications de Flo en post-test différé – Flo réalise cinq prédictions correctes sur six. Ses justifications donnent un score CL de 47 et un score FT de 19 arguments cités. Flo maintient en post-test différé l'augmentation du nombre d'arguments déjà manifeste en post-test immédiat. Ses justifications atteignent le niveau modal IIIA et conservent donc un meilleur niveau qu'en pré-test. Elle continue donc après le post-test immédiat à employer des préconceptions de la densité. Encore une fois, après l'entraînement, l'argument de la masse apparaît encore parfois, mais combiné avec d'autres arguments. Par exemple, la pomme de terre coule car *« c'est trop lourd car c'est trop plein »*. En revanche, elle utilise davantage l'argument du contenu ou de la matière de l'objet. Ainsi, la pile coule car *« elle est pleine »* et la bougie flotte car *« la matière flotte »*.

L'explication générale de Flo en post-test différé – L'explication de Flo est de niveau IIIA car elle s'appuie sur le contenu de l'objet : *« Soit il prend l'eau et il coule. Soit il y a de l'air et il ne coule pas »*. Cette explication est plus courte qu'au post-test immédiat et l'enfant limite le nombre d'arguments. On retrouve une explication similaire de celle de pré-test. L'entraînement n'a donc eu ici qu'un effet temporaire sur l'explication générale.

9.3.9 – Les performances de Noe en post-test immédiat et différé

Les prédictions et justifications de Noe en post-test immédiat – Noe réalise trois prédictions correctes sur six. Ses justifications donnent un score CL de 37 et un score FT de 12 arguments cités. Elles atteignent le niveau modal IIIA, car elle présente des préconceptions de la densité. En effet, Noe cite régulièrement le contenu de l'objet. Par exemple, le flacon flotte car *« il y a de l'air dedans »*. Ses justifications sont assez comparables avec celles de pré-test, mais elle utilise peu l'argument de la masse et elle n'utilise plus celui de la matière.

L'explication générale de Noe en post-test immédiat – En guise d'explication, Noe écrit : *«Il y a des objets qui absorbent l'eau donc il coule. D'autre qui la laisse pas passer donc il flotte. Souvent les objet qui on de l'air dedans flotte. ».* Cette explication est de niveau IIIA car elle s'appuie sur le contenu de l'objet. Comme pour sa partenaire, cette explication est plus longue qu'au pré-test. Noe y utilise l'argument du contenu en eau, mais aussi l'argument du contenu en air, ce facteur pouvant jouer un rôle moins systématique. Elle fait ainsi part de ses observations, ce qui donne à cette explication un caractère empirique.

Les prédictions et justifications de Noe en post-test différé – Noe réalise quatre prédictions correctes sur six. Ses justifications donnent un score CL de 42 et un score FT de 16 arguments cités. Après quelques semaines, elle utilise légèrement plus d'arguments et donne des réponses légèrement meilleures. Elle atteint le niveau modal IIIA, en employant notamment des préconceptions de la densité en termes de contenu et de masse spécifique à la matière. Par exemple, la bille coule car *« c'est rempli dedans »* et la boule de pétanque coule car *« c'est lourd le fer ça coule »*. Cependant, contrairement au post-test immédiat, elle utilise à nouveau l'argument de la masse de l'objet, sans le recombiner à un autre argument, et de manière ambivalente. Ainsi, la bougie flotte car *« c'est lourd »* et la pomme de terre coule car *« c'est lourd »*. Noe a donc développé ses justifications, mais revient à une conception où la lourdeur de l'objet est perçue comme une variable importante quoi que ambiguë.

L'explication générale de Noe en post-test différé – Noe écrit : *« Ils flottent car il peut y avoir de l'air dedans ou que l'eau ne peut pas rentrer. Il coule car c'est lourd »*. Cette explication est de niveau IIIA car elle est basée sur le contenu de l'objet. L'enfant utilise à nouveau l'argument de la lourdeur pour caractériser les objets qui ne flottent pas. Cependant, ce facteur est présenté lui aussi comme décisif, ce qui suggère une contradiction potentielle au sein de la pensée de l'enfant. En effet le contenu et la masse de l'objet ont un rôle décisif dans la flottaison. Ils peuvent agir de manière opposée, bien que l'enfant ne le relève pas ici.

9.3.10 – Conclusion sur une dyade du groupe IDI

Une évolution typique – Cette dyade est typique du groupe IDI : les prédictions évoluent peu et progressent pour une des partenaires ; les justifications progressent pour l'une et régressent pour l'autre, quantitativement et qualitativement. Les explications évoluent peu.

Des contradictions peu fréquentes en situation individuelle – Même en situation individuelle, la diversité des objets amène une complexité importante pour élaborer l'explication générale, d'où une sophistication des conduites et des raisonnements. Des contradictions surviennent moins fréquemment que dans la dyade précédente. Ce constat peut venir du fait que les situations solitaires favorisent moins de contradictions, ou bien du fait que les enfants ne verbalisent pas en situation solitaire, ce qui limite la possibilité de les détecter. Le fait que ces enfants ne peuvent pas confronter leurs conceptions durant les situations individuelles nous incite à penser qu'il y a effectivement moins de contradictions dans ces situations et que l'enfant est davantage amené à appliquer ses conceptions aux objets.

Les activités de l'entraînement – En début d'entraînement, les enfants manipulent quelques objets et écrivent longuement leur explication personnelle. Flo s'intéresse au contenu de l'objet, et Noe à la masse des objets par rapport à l'eau. Ce travail individuel leur permet sans doute de définir leurs attentes, et de répondre à quelques contradictions nées de l'application de leur conception aux observations. En travaillant en commun, elles partagent ensuite leurs conceptions : contrairement à la dyade précédente, elles repèrent peu de contradictions, mais abandonnent l'idée de lourdeur de l'objet. Elles manipulent souvent les objets et tentent d'expérimenter à propos de leur contenu. Enfin, elles retravaillent seules, en faisant davantage de manipulations simples et instrumentées pour poursuivre leur réflexion commune, et en utilisant à nouveau un temps conséquent pour écrire une explication. Elles font appel au contenu et à la masse des objets, et semblent donc chacune avoir intégré la conception du partenaire à leur conception initiale (voir Tableau 41).

Tableau 41 – Récapitulatif des activités de la dyade Flo-Noe durant l'entraînement

Activités	Temps					
	Test1		Test2		Test3	
	Flo	Noe	Flo	Noe	Flo	Noe
Temps de manipulation d'objets	6%	40%	64%	44%	16%	55%
Temps de manipulation d'outils	0%	19%	29%	57%	10%	32%
Temps d'écriture	69%	37%	14%	20%	52%	45%

Notes. Flo, Noe = enfants suivis dans le groupe IDI.

Une articulation de situation pour engager des conceptions personnelles – Durant l'entraînement, les enfants élaborent donc des explications personnelles auxquelles ils intègrent l'explication du partenaire. Les enfants mettent en évidence peu de contradictions, bien qu'il soit difficile de connaître leur raisonnement en situation individuelle. Ceci suggère que l'alternance des situations, individuelle puis dyadique puis individuelle, engendre une organisation originale des activités : les enfants génèrent une conception personnelle, tentent de l'appliquer et de résoudre les contradictions nés des observations ; puis ils partagent leurs conceptions et repèrent de nouvelles contradictions de point de vue, et s'émulent dans l'utilisation des objets et outils ; enfin, cela leur permet de proposer une explication générale qui coordonne les conceptions des deux partenaires. La limitation du nombre de contradictions repérées permettrait peut-être de focaliser sur des conceptions et de proposer une explication générale. Au contraire, les enfants du groupe DDD semblent davantage surchargés de contradictions et déstabilisés dans l'établissement d'une règle générale.

9.4 – Perspectives à partir de deux études de cas

L'étude de cas apporte une compréhension fine de la façon dont les enfants travaillent. Elle permet de décrire l'évolution des conceptions des participants, par quelles conduites ces conceptions se transforment durant l'entraînement et enfin la diversité des contradictions rencontrées par les enfants dans la compréhension du phénomène.

9.4.1 – L'évolution des conceptions des enfants

Des conceptions en termes de masse vers d'autres conceptions – D'après les études de cas, les enfants se confrontent régulièrement au problème d'intégrer la lourdeur (ou la masse) des objets à leurs explications. Cela conforte l'analyse des réponses de pré-test à post-test ou durant l'entraînement. En effet, de nombreux participants utilisent de moins en moins cet argument en post-test. Les activités de deux dyades d'enfants montrent que l'une des solutions est de ne plus mobiliser la masse des objets. Une fois l'argument discrédité, elles n'ont plus de raison de l'utiliser. Pourtant la définition scientifique de la densité exigerait d'associer la masse avec le volume des objets, pour composer le concept de densité. En revanche, les enfants tentent de remplacer ou du moins de compenser cette conception de la masse par d'autres conceptions, notamment par l'idée de contenu. Cette notion permet en d'appréhender la complexité des objets, qui peuvent être composés d'éléments variés. Les enfants tentent donc de construire des conceptions élaborées, parfois même innovantes. Par exemple dans les deux études de cas, on peut voir les enfants combiner l'idée de matériau à celle du contenu de l'objet, en supposant que certains matériaux ont un contenu spécifique.

La logique naturelle d'élaboration des conceptions – Confrontés à la multitude des observations, les enfants doivent établir une stratégie pour produire une explication générale. Des recherches ont montré que les enfants emploient une logique additive pour combiner des concepts comme ceux de la masse et du contenu, plutôt qu'une logique multiplicative (Leoni & Mullet, 1991). Cette logique additive, précoce, paraît plus naturelle. Conformément à l'idée piagétienne, cette démarche intellectuelle s'inspire d'une logique de l'action. Elle consiste à superposer les conceptions. Les enfants commencent par élaborer une conception, par exemple la lourdeur fait couler les objets. S'ils ne repèrent pas de contradiction dans leurs observations, ils conservent cette conception. Pour les observations qui ne peuvent s'expliquer de cette manière, ils utilisent une autre conception, qui explique surtout des observations restées problématiques, par exemple l'air contenu fait flotter les objets. Cette deuxième conception vient en quelque sorte se superposer sur la première pour maximiser l'étendue du pouvoir explicatif des enfants. Si on prend l'image d'un agencement matériel, l'enfant pose une pièce explicative qui permet de couvrir un ensemble de cas empiriques ; il superpose ensuite une deuxième pièce explicative, censée couvrir d'autres cas empiriques, et ainsi de suite. Dans langage écrit ou oral, cette superposition prend la forme d'une juxtaposition linéaire d'arguments. C'est selon nous le procédé essentiel des enfants.

9.4.2 – Les conduites des participants durant l'entraînement

L'expérience empirique spontanée – Dans cette recherche, les enfants peuvent mettre en place des conduites spontanées dans un environnement équipé d'objets et d'outils. Cet environnement est différemment investi selon la situation solitaire ou dyadique. Les manipulations d'objets et d'outils sont favorisées en situation collective. Elles constituent des médiations cognitives et sociales. Par exemple, un enfant prend un objet pour contredire l'idée de son partenaire. L'étude d'une dyade du groupe DDD montre deux enfants qui manipulent les objets et prennent du temps à s'accorder sur l'observation des faits. Cela peut constituer un avantage, mais aussi une dépendance à l'action immédiate du partenaire. En situation solitaire

cette dépendance semble relâchée : l'enfant ne dialogue pas avec un partenaire et manipule peu les objets et outils. En outre, il est davantage libre d'explorer les objets et d'extérioriser par écrit sa pensée personnelle. L'environnement matériel semble aussi différemment investi en fonction de la succession des situations. Travailler seul après avoir travaillé à deux favoriserait l'investissement solitaire de l'environnement matériel. Dans l'étude d'une dyade du groupe IDI, les activités pourraient différer en fonction de la suite de situations. Par exemple, travailler seul en fin d'entraînement semble amener les enfants à opérer une synthèse entre leurs conceptions initiales et celles développées avec le partenaire. En ce sens, cette recherche constitue un premier essai pour distinguer les activités mentales selon l'enchaînement des situations.

Le langage comme outil cognitif – Les situations dyadiques et solitaires soutiennent différemment les pratiques langagières. Travailler seul et travailler à deux permet à l'enfant de varier son utilisation du langage comme outil cognitif, et de développer des usages différents. Dans l'étude de cas du groupe DDD, la conversation s'articule avec les objets pour permettre le partage des idées : parfois, elles alternent les objets et les tours de parole pour étaler un répertoire d'arguments. Cette situation favoriserait l'expression d'arguments divers pour décrire les attentes et observations particulières. Cette pratique permet de résoudre des problèmes complexes, avec des points de vue divergents entre les individus ou selon les objets. En revanche, les enfants de cette dyade passent peu de temps à écrire, et elles le font parfois séparément. L'écrit n'apparaît alors que comme la réalisation finale d'une mise au point entre des cognitions différentes. Cette explication est destinée à la fois à l'adulte mais aussi à concrétiser un accord. La situation solitaire incite davantage les enfants à écrire sur plus longuement et en manipulant peu les objets. Dans ce travail solitaire, l'enfant écrit pour exposer sa conception à l'expérimentateur. Sous le prétexte de communiquer une réponse à l'adulte, l'explication devient ici un produit pour soi. L'enfant est incité à construire entièrement une articulation de ses propres conceptions et dont il contrôle entièrement la cohérence.

9.4.3 – La richesse des contradictions rencontrées par les enfants

Divers types de contradiction – L'ensemble des résultats semble indiquer une difficulté des enfants pour concevoir le phénomène. Cette difficulté est essentiellement due au fait qu'ils rencontrent des contradictions qui modifient le problème initial. Les possibilités de contradictions sont multipliées lorsque les enfants manipulent des objets et outils, et lorsqu'ils travaillent collectivement. Dans l'étude de cas du groupe DDD, les enfants citent d'abord à tour de rôle des arguments différents, ce qui ne leur pose pas de problème pour donner une explication générale à plusieurs facteurs. Puis, ils relèvent des contradictions. Suivant l'exemple de Piaget (1974c), on observe divers types de contradictions.

• Contradiction entre une attente et une observation directe : certaines attentes sur la réaction d'un objet peuvent être en contradiction avec l'observation. Ce type de contradiction est notamment relevé par l'enfant lorsqu'il explicite son attente. C'est par exemple le cas lorsqu'il fait une prédiction étayée par une justification ou une hypothèse.

• Contradiction entre deux observations : deux observations d'un même objet s'opposent. Elles peuvent être faites par un même enfant ou par deux enfants. Ainsi un objet peut être évalué différemment à deux moments distincts.

• Contradiction entre des attentes particulières : l'enfant développe des attentes différentes sur un objet. Les attentes peuvent être fondées de différentes manières (par des percepts, concepts,

souvenirs…) qui sont contradictoires entre elles. Par exemple, l'enfant perçoit physiquement que l'objet coule mais se souvient d'avoir vu cet objet flotter.
• Contradiction entre une explication et une observation : l'explication parce qu'elle est appliquée à de nouveaux objets peut occasionner des contradictions. Par exemple, l'enfant explique que les objets en fer coulent puis observe une boîte en fer qui flotte.
Dans tous ces cas, les contradictions sont particulièrement saillantes lorsqu'elles entrent dans des processus d'interactions entre les individus ou par le biais de médiations instrumentales. C'est pourquoi les situations collectives paraissent soulever davantage de contradictions.

Diverses issues aux contradictions rencontrées – Les contradictions ne sont pas automatiquement intégrées au raisonnement. Elles peuvent ne pas être relevées, d'autres sont volontairement ignorées. Certaines sont tout de même prises en compte. On observe chez les participants une variété de conduites face aux contradictions, dont certaines repérées par Piaget (1974c) :
• Ignorer la contradiction : les enfants peuvent considérer que la contradiction n'est pas un obstacle à leurs explications.
• Réduction de la contradiction par *« modification de l'observation »* : l'enfant modifie l'observation faîte pour qu'elle soit cohérente avec l'explication. Par exemple, les enfants concluent d'un objet d'abord jugé comme léger, qu'il coule et donc qu'il est lourd.
• Réduction de la contradiction par *« l'exclusion de variables »* : l'enfant rejette l'explication contredite.
• Résolution de la contradiction par *« relativisation »* : une règle est incertaine. L'enfant accepte les limites d'une explication qui est souvent vérifiée, sauf avec certaines observations qui sont considérées comme des exceptions ou comme des faits dépendants d'autres facteurs.
• Résolution de la contradiction par *« élargissement du cadre de référence »* : l'enfant introduit une explication qui en complète une autre.
• Résolution de la contradiction par *« dissociation de facteurs confondus »* (George, 1983, p.211): l'enfant discrimine un facteur qui permet de concevoir diverses observations.

Les contradictions repérées varient au fil des situations sociales – Cette première taxonomie permet de prendre conscience de la richesse des contradictions que les enfants rencontrent en contexte. Cet éventail de contradictions et de modes de résolution change selon les situations sociales. Par exemple, la tutelle de l'adulte contraint l'attention de l'enfant sur des contradictions particulières, et sur certains modes de résolution (Bruner, 1983). Travailler seul ou à deux modifie également l'attention des enfants sur ces contradictions. Il semble que l'interaction entre pairs multiplie les possibilités de contradiction. Cependant, l'enfant n'a pas besoin de nombreux conflits cognitifs. En situation solitaire en revanche, l'enfant relève moins de contradictions, et des contradictions plus personnelles, seulement entre sa pensée et l'objet. Les contradictions possibles sont moins diverses mais aussi plus centrées sur l'ajustement de la pensée de l'enfant à l'objet. Cette situation peut donc agir comme inhibiteur socio-cognitif des contradictions perçues. Cette inhibition est peut-être essentielle pour pouvoir expliquer de manière générale, sans que la pensée soit surdéterminée par une multitude de facteurs contradictoires. Cela expliquerait que les enfants des groupes IDI et III passent plus de temps à l'écriture d'une explication générale, et tirent plus de bénéfices dans les explications générales de pré-test à post-test. La succession des situations solitaires ou collectives devrait enfin permettre de mieux comprendre comment l'enfant transfère des contradictions et résolutions d'une situation à la suivante. Par exemple, travailler seul après avoir travaillé en dyade, peut permettre aux

enfants de se concentrer sur certaines contradictions repérées grâce au travail collectif. Inversement, travailler à deux peut aider les enfants à trouver d'autres types de résolution aux contradictions personnelles repérées dans un travail solitaire. La succession des situations pourrait créer une dynamique socio-cognitive qui fasse émerger des contradictions et des façons de les solutionner.

Résumé du chapitre 9

L'objectif du chapitre 9 est de donner une description générale des pratiques des participants pendant l'entraînement, puis de présenter deux études de cas afin d'avoir une idée de l'évolution des activités des enfants. Ces éléments donnent des pistes d'interprétation des résultats précédents.

L'analyse des pratiques durant l'entraînement montre des différences importantes entre les situations solitaires et collectives : les situations solitaires ont tendance à orienter l'attention des enfants sur l'écriture de l'explication générale, tandis que les situations dyadiques les conduits davantage à manipuler les objets et les outils. D'autre part, l'alternance de situations individuelles et dyadique permet aussi aux enfants après une situation dyadique de s'investir davantage dans les manipulations d'objets et d'outils en situation solitaire.

Les études de cas confortent ces éléments et apportent un supplément d'information pour comprendre les résultats précédents. L'entraînement est surtout prévu pour que les enfants pratiquent la prédiction et l'explication générale. Il y a cependant un effet inattendu pour les enfants du groupe DDD. En l'occurrence, du fait de la situation collective renouvelée, ces enfants passeraient plus de temps à interagir en se basant sur les objets et outils, et en relevant des contradictions. De ce fait ils pratiquent essentiellement des activités de justification. Cet un effet inattendu se retrouve dans la progression de leurs justifications de pré- à post-test. Les enfants du groupe IDI relèveraient quant à eux moins de contradictions, et accorderaient plus de temps à des prédictions personnelles et à l'écriture de l'explication générale, mais avec un temps collectif qui les amène à enrichir mutuellement leurs conceptions et leur engagement dans les activités avec les objets concrets. Enfin, leurs connaissances seraient ainsi re-élaborées dans la situation individuelle finale.

Au cours de l'entraînement, les enfants peuvent rencontrer et analyser un grand nombre de contradictions (entre leurs conceptions, entre des prédictions particulières et des justifications, entre des prédictions et des observations, etc…). La mise en évidence et la résolution de ces contradictions semble très dépendante des processus cognitifs individuels, mais aussi de la situation sociale, c'est-à-dire de processus socio-cognitifs qui les sous-tendent. L'une des contradictions principales, susceptible d'affecter une majorité des participants de l'étude, vise la notion de masse ou de lourdeur de l'objet. Cette contradiction amène même certains enfants à ne plus utiliser cet argument dans les justifications de post-test.

CHAPITRE 10 – DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce chapitre rappelle les objectifs de la recherche et les résultats principaux (10.1), puis il indique des pistes sur le rôle des situations solitaires et collaboratives (10.2). Enfin, des perspectives pratiques et de recherche sont proposées (10.3).

10.1 – Objectifs et vue d'ensemble des résultats

La psychologie socio-cognitive montre la richesse des processus cognitifs et sociaux en jeu dans les situations interindividuelles. Ce paradigme questionne les rapports des processus individuels et des situations sociales qui les impliquent. Cette recherche propose l'étude de parcours d'enfants selon qu'ils traversent des situations sociales différentes, en travaillant en dyade ou solitairement. Nous rappelons ici l'objectif de la recherche et les évolutions repérées.

10.1.1 – Objectif de la recherche

L'objectif – Cette recherche vise à étudier dans une perspective microgénétique s'il est favorable pour les enfants de passer par des situations solitaires et collectives afin de résoudre un problème de physique. On considère que les individus réalisent des activités différentes en fonction des situations. Selon l'hypothèse de départ, la diversité des situations sociales amènerait à appréhender un problème de différentes manières. En cela, le changement de situation peut conduire l'enfant à mobiliser diverses performances et connaissances, pour former une cognition plus complexe. Le problème proposé concerne un micro-domaine de la physique, la flottaison des objets. L'une des difficultés que les enfants ont rencontrées est l'impossibilité de trouver un facteur unique qui détermine la flottaison des objets. Il s'agit donc d'un problème sophistiqué mais relativement ouvert, que les enfants ont exploré en organisant eux-mêmes leurs conduites dans un contexte donné. Cette autonomie dans la structuration des activités permet de comprendre comment l'enfant construit lui-même des problèmes notamment en fonction de leurs propres capacités cognitives. Quatre parcours d'entraînement ont été proposés avec l'idée de montrer que les enfants qui passent par des situations d'entraînement solitaire et collective (groupes IDI et DID) peuvent développer de meilleures connaissances, que les enfants travaillant uniquement en solitaire (groupe III) ou en dyade (groupe DDD).

10.1.2 – Résumé des résultats et des hypothèses par performance

Les prédictions – Les enfants ont été évalués sur la justesse des prédictions réalisées en pré-test et post-test. L'un des groupes alternant (IDI) progresse en justesse des prédictions mais pas les autres. En moyenne, les enfants de ce groupe développent de meilleures prédictions, à

partir du post-test différé, donc après quelques semaines (hypothèse H1 validée). Durant l'entraînement, le groupe IDI progresse également dans les prédictions (hypothèse H6 validée)

Les justifications – Les enfants ont été évalués sur le nombre et la qualité conceptuelle des facteurs cités pour justifier les prédictions. Les groupes qui alternent les situations individuelles et dyadiques ne progressent pas davantage dans le nombre ou la pertinence de ces facteurs (hypothèses H2 et H3 non-validées). Au contraire, les enfants du groupe DDD développent des arguments plus nombreux et plus pertinents en post-test différé, et ceux du groupe DID donnent moins d'arguments et des arguments moins pertinents en post-test immédiat

Les explications générales – Les enfants ont été évalués sur le nombre d'arguments et la qualité conceptuelle des explications générales écrites. Un groupe alternant (IDI) augmente le nombre de facteurs cités à partir du post-test différé. Il n'y a pas d'évolution dans les autres conditions (hypothèse H4 validée). En revanche, aucun groupe n'évolue dans la qualité des explications (hypothèse H5 non validée). Durant l'entraînement, il n'y a pas d'évolution significative du nombre et de la pertinence des facteurs cités (hypothèses H7 et H8 non validées).

L'intérêt de l'articulation des situations dépend des performances – Les résultats de cette recherche indiquent que l'évolution des enfants n'est pas globalement préférable dans une certaine articulation de situation. En effet, cela dépend de la performance évaluée (Cf tableau 42). Ainsi travailler régulièrement à deux aiderait les enfants à développer des justifications tandis que travailler seul puis à deux puis seul favoriserait de meilleurs prédictions et davantage d'arguments dans l'écriture d'une explication générale.

Tableau 42 – Récapitulatif des résultats par hypothèse

Temporalité	Hypothèse	Résultat
Pré- à post-test	H1 - Il y a une progression plus importante des prédictions correctes dans les groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Validée
	H2 - Il y a une progression plus importante du nombre de facteurs cités en justification des groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Non validée
	H3 - Il y a une progression plus importante de la pertinence des justifications dans les groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Non validée
	H4 - Il y a une progression plus importante du nombre de facteurs cités dans les explications des groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Validée
	H5 - Il y a une progression plus importante de la pertinence des explications dans les groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Non validée
Entraînement	H6 - Il y a une progression plus importante des prédictions correctes dans les groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Validée
	H7 - Il y a une progression plus importante du nombre de facteurs cités dans les explications des groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Non validée
	H8 - Il y a une progression plus importante de la pertinence des explications dans les groupes IDI et DID par rapport aux groupes DDD et III.	Non validée

10.1.3 – Les groupes contrôles

L'évolution du groupe III – Le groupe III constitue un groupe contrôle « classique ». Dans cette recherche, il s'agit du groupe où les interactions entre pairs sont le plus limitées. Durant l'entraînement, ces enfants ne sont donc pas contraints à distinguer verbalement des facteurs explicatifs. Ces enfants restent assez distants des expériences matérielles car ils manipulent peu les objets et outils. Ils se concentrent essentiellement sur ce qu'ils perçoivent de l'objet et sur ce qu'ils pensent personnellement du phénomène. C'est pourquoi ils consacrent un temps conséquent à l'écriture d'une explication générale. Dès le deuxième temps d'entraînement, ces enfants cherchent néanmoins à changer leurs explications. Ils citent de moins en moins d'arguments et un certain nombre d'entre eux se détourne de l'argument de la masse. La seule évolution remarquable serait donc le repérage temporaire d'une contradiction. Finalement, ce groupe ne progresse dans aucune des performances de pré- à post-test (voir Tableau 43). La reprise d'un entraînement individuel limite le renouvellement des pratiques et des idées.

Tableau 43 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe III

Période	Evolutions
Performances de pré-test à post-tests	Aucune performance n'évolue significativement.
Performances durant l'entraînement (test1, test2 et test3)	Aucune performance n'évolue significativement. Dans les explications générales, ils citent moins l'argument de la masse des objets dès le temps test2.
Activités durant l'entraînement	Les enfants utilisent un temps conséquent pour écrire une explication. (Ce temps d'écriture diminue sensiblement). Ils utilisent peu les outils proposés.

L'évolution du groupe DDD – Les participants du groupe DDD bénéficient d'un entraînement dyadique. Cet entraînement est riche de possibilités. L'activité collaborative implique fondamentalement un travail d'explicitation des points de vue : l'enfant essaye de comprendre le point de vue du partenaire et de faire comprendre son propre point de vue. D'autre part, le contexte matériel est largement exploré. Les dimensions sociales et matérielles semblent s'influencer mutuellement : l'intercompréhension implique que les enfants intègrent les objets et outils à leurs échanges pour se comprendre, et inversement le contexte matériel focalise la confrontation des idées. Les objets et outils soutiennent l'interaction. Les enfants accordent donc beaucoup de temps à observer et manipuler des objets et à partager des points de vue. Durant l'entraînement, les prédictions collectives sont plutôt bonnes, mais les explications évoluent peu et le nombre de facteurs cités diminue. Notamment, ces enfants repèrent une contradiction avec l'argument de la lourdeur des objets qu'ils rejettent provisoirement durant l'entraînement. Une évolution cognitive importante a lieu en post-test : ils développent davantage d'arguments dans la justification des prédictions. Cet enrichissement du répertoire argumentatif, notamment par l'argument de la matière des objets, renforce leurs préconceptions de la densité. Mais cet effet ne se retrouve pas dans leurs explications générales (voir Tableau 44). Le fait de travailler en dyade incite à co-élaborer des points de vue sur les objets et à explorer le contexte matériel. La reprise de cette situation renforce cet effet et les enfants se détournent de l'écriture d'une explication générale. C'est pourquoi cet entraînement permet d'enrichir le répertoire argumentatif et de repérer de nombreuses contradictions, mais pas d'opérer une synthèse dans l'explication, ni d'améliorer les prédictions.

Tableau 44 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe DDD

Période	Evolutions
Performances de pré-test à post-tests	Les justifications progressent en nombre d'arguments (score FT). Les justifications progressent en qualité conceptuelle (score CL). Les justifications contiennent plus l'argument de la matière.
Performances durant l'entraînement (test1, test2 et test3)	Les explications régressent en nombre d'arguments (score FT_{exp}). Les explications régressent en qualité conceptuelle (score Niv_{exp}). Ils citent moins l'argument de la masse des objets.
Activités durant l'entraînement	Ils utilisent peu de temps pour écrire une explication générale, mais utilisent beaucoup de temps dans les manipulations instrumentales.

10.1.4 – Les groupes alternant le travail individuel et dyadique

Principe – Une critique du courant socio-cognitif suppose que les progrès peuvent être du à la succession des situations, individuelle en pré-test et post-test, et collective dans l'entraînement. Peu de travaux ont répondu à cette critique. Dans la recherche présente, le groupe IDI reçoit un entraînement qui comprend cette suite de situations. Les participants du groupe DID constituent un autre agencement des situations. La présence de ces deux groupes permet de tester l'importance de la diversité des situations et celle de l'articulation particulière des situations.

L'évolution du groupe DID – Durant l'entraînement, les enfants du groupe DID font d'abord des prédictions et explications en dyade : il y a une tentative d'intercompréhension et de co-élaboration d'emblée. Comme dans le groupe DDD, ils prennent peu de temps pour rédiger une explication et se concentrent sur l'exploration matérielle du contexte. De fait, les conceptions sont élaborées verbalement à partir d'observations particulières. Se séparant ensuite, ils accordent en général davantage de temps à l'écriture d'une explication personnelle, mais aussi aux manipulations des objets et outils. Puis, les enfants partagent à nouveau leurs points de vue et manipulent le matériel, mais écrivent peu. En fin d'entraînement, les prédictions n'ont pas évolué globalement, ni le nombre et la qualité des facteurs cités en explication. Certains enfants constatent que la masse de l'objet explique mal le phénomène et utilisent moins ce facteur pour expliquer la flottaison, mais seulement à la fin de l'entraînement contrairement aux autres groupes. L'agencement des situations pendant l'entraînement n'a donc pas particulièrement favorisé ces enfants. De pré-test à post-test, les prédictions et les explications générales évoluent peu. Les justifications semblent moins étayées et moins pertinentes après l'entraînement, ce qui peut indiquer un certain trouble causé dans leurs apprentissages (voir Tableau 45).

Tableau 45 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe DID

Période	Evolutions
Performances de pré-test à post-tests	Aucune performance n'évolue significativement En justification, les enfants utilisent de moins en moins la combinaison d'argument masse et matière.
Performances durant l'entraînement (test1, test2 et test3)	Aucune performance n'évolue significativement Dans les explications générales, les enfants citent de moins en moins l'argument de la masse des objets.
Activités durant l'entraînement	En solo, ils utilisent beaucoup de temps pour écrire une explication ; en dyade, ils utilisent davantage les outils et objets lorsqu'ils sont en dyade. Lorsqu'ils travaillent en solo après un travail en dyade, ils utilisent souvent les objets et outils.

L'évolution du groupe IDI – Le premier temps d'entraînement du groupe IDI est individuel. Cette situation soutient l'écriture d'une explication générale du point de vue propre de l'enfant. Au deuxième temps, ces enfants ont donc déjà explicité pour eux-mêmes leur conception du phénomène. La situation collective soutient alors le partage des points de vue sur les objets et l'exploration matérielle. Ils écrivent peu et les explications communes évoluent en termes de contenu de l'objet, ce qui montre un progrès vers la compréhension de la densité. Au dernier temps d'entraînement, les enfants mobilisent individuellement les connaissances élaborées et écrivent une explication générale dans un effort de synthèse personnelle. Durant cet entraînement, les enfants progressent généralement dans leurs prédictions au moment de travailler ensemble et les explications n'évoluent globalement pas. De pré- à post-test immédiat, les justifications évoluent peu, les explications générales progressent surtout en nombre d'arguments et les prédictions de la flottaison des objets progressent dans ce groupe seulement. Une succession particulière de situations sociales a favorisé ces performances. Selon nous, l'entraînement individuel a d'une part focalisé l'attention sur les perceptions, et a d'autre part favorisé la cohérence entre les perceptions et les conceptions de l'enfant. En situation solitaire, les enfants peuvent percevoir implicitement des caractéristiques de l'objet pour prédire si l'objet flotte ou coule. Cependant, ces perceptions sont peu explicitement conceptualisées. L'expérience collective nécessite quant à elle des conceptions explicites. Enfin, ces élèves retravaillent individuellement. Ce dernier temps peut servir à synthétiser les impressions et les conceptions mobilisées précédemment. L'articulation de temps solitaires à ces temps collectifs pourrait aider les enfants à remodeler des compétences déjà mises en œuvre (voir Tableau 46).

Tableau 46 – Récapitulatif des évolutions cognitives du groupe IDI

Période	Evolutions
Performances de pré-test à post-tests	Les prédictions progressent significativement. Dans les justifications, l'argument de la masse devient moins fréquent. Les explications progressent en nombre d'arguments (score FT_{exp}), mais peu en qualité conceptuelle (score Niv_{exp}).
Performances durant l'entraînement (test1, test2 et test3)	Les prédictions progressent significativement. Dans les explications générales, les enfants citent plus l'argument du contenu de l'objet en test2.
Activités durant l'entraînement	En solo, ils utilisent beaucoup de temps pour écrire une explication ; en dyade, ils utilisent beaucoup de temps dans les manipulations instrumentales. Lorsqu'ils travaillent en solo après un travail en dyade, ils utilisent souvent les objets.

10.1.5 – De la diversité à l'articulation des situations

Un seul groupe alternant montre des progrès cognitifs – L'hypothèse d'un effet de l'alternance des situations sociales est validée, au moins partiellement. Les connaissances des groupes alternants évoluent de manière spécifique en post-test et durant l'entraînement. Les enfants du groupe IDI développent de meilleures prédictions en post-test. La progression est légère mais se produit pour une majorité d'individus, et alors que cette performance reste stable dans les autres groupes. Ils mobilisent également plus de facteurs physiques dans leurs explications générales, bien que la pertinence conceptuelle de ces facteurs ne progresse que sensiblement. En revanche, les enfants du groupe DID ne progressent pas. Ils ont même plutôt

tendance à présenter de moins en moins de facteurs pour étayer leurs justifications. Des deux groupes alternants, un seul d'entre eux progresse dans la connaissance du phénomène.

L'alternance est insuffisante – L'enfant apprend parce qu'il traverse des situations différentes. Les activités s'enrichissent de la diversité des situations. L'enfant peut ainsi découvrir d'autres manières d'appréhender les problèmes. Il devrait être plus favorable de changer régulièrement de situations. Dans l'étude présente, trois groupes alternent les situations individuelles et collectives. Dans le groupe DDD, les enfants travaillent individuellement en pré- et post-test, et ensemble durant l'entraînement : ces enfants progressent au niveau d'une performance, la justification des prédictions, en développant le répertoire des facteurs utilisés et une plus grande pertinence des justifications. Dans le groupe IDI, les enfants sont aussi entraînés avec une variation des situations individuelles et collectives : effectivement, ces enfants progressent pour certaines performances, de prédiction et d'explication générale. Enfin, le groupe DID est celui qui fait le plus d'alternance de situations. Les enfants travaillent seuls en pré-test, puis ils s'entraînent en dyade, individuellement et en dyade; puis ils travaillent individuellement en post-test. Pourtant, ces enfants ne progressent dans aucune des performances relevées. Pire, ces enfants écrivent finalement des justifications moins étayées et de moins bon niveau conceptuel. L'alternance des situations n'est pas systématiquement favorable au développement cognitif et pourrait à l'inverse avoir des effets négatifs. Dans cette recherche, il semble que les situations sociales ne doivent pas seulement être diverses mais qu'elles doivent encore s'organiser les unes par rapport aux autres pour construire la pensée.

10.2 - Effets immédiats et effets de transition des situations sociales

Les résultats précédents posent de nombreuses questions. En effet comment appréhender la situation solitaire ? La suite de cette discussion vise à définir deux niveaux d'explication du fonctionnement cognitif dans la variation des situations sociales. Comment rendre compte de l'activité psychologique de l'enfant en situation solitaire ? Comment distinguer les situations et les processus psychologiques qui les impliquent ? Alors que certains courants de psychologie utilisent les situations solitaires dans l'idée d'appréhender les processus individuels, la perspective socio-cognitive et sociohistorique semble à ce point la meilleure entrée théorique pour appréhender ce problème. Elle permet de définir comment la cognition évolue dans l'enchaînement des situations, et le rôle que joue la présence de situations solitaires.

10.2.1 – Un premier niveau d'étude : la cognition en « situation »

Distinguer les situations – Les approches générales de la cognition, telles que l'approche piagétienne connaissent un premier niveau de relativisation du fait de la prise en compte des situations dans lesquelles s'insère la pensée. Les particularités de la méthodologie piagétienne (observations, contre-suggestions…) impliquent l'enfant dans un processus particulier constructif des connaissances. Il met l'enfant face à des contradictions successives et à la cohérence logique des actions et explications du sujet. De la même façon, le fait de travailler seul ou à deux modifie considérablement les activités. Selon Johnson et Johnson (1985), on ne peut pas attendre des élèves les mêmes performances à produire selon que la situation est collaborative, compétitive ou

solitaire, car ces situations impliquent des activités spécifiques. L'enfant met en oeuvre de multiples connaissances et compétences pour appréhender le monde, en fonction à la fois d'une dimension sociale et d'une dimension matérielle. Nos données indiquent effectivement des contraintes liées au contexte immédiat dans lequel les activités ont lieu. Par exemple, la présence d'une balance durant l'entraînement joue un rôle important dans les activités. Cependant, les usages du contexte matériel (objets et outils) et les usages de la situation interindividuelle (solitaire ou collective) sont relatifs l'un par rapport à l'autre. Définir l'intérêt du travail collectif n'a de sens que par rapport à des contraintes matérielles, et inversement l'intérêt des objets et instruments n'a de sens que par rapport à une organisation sociale définie. L'enfant régule ses activités cognitives dans un système cognitif distribué (Hutchins, 1995). En fonction d'une certaine configuration sociale et matérielle donnée, l'enfant met en place des activités plus ou moins particulières. Il s'agit là d'effets immédiats de la situation. Dans cette perspective, l'apprentissage apparaît comme la réalisation d'influences qui modifient les activités, plutôt que d'une démarche de transformation des connaissances.

10.2.2 – Effets immédiats de la situation solitaire

L'exploration matérielle en situation collective – Le travail collaboratif est particulièrement étudié par l'approche socio-cognitive. Dans cette recherche, les dyades s'inscrivent dans une dynamique d'exploration du contexte matériel. Ces enfants s'appuient particulièrement sur les objets et les outils à disposition. Ils s'émulent mutuellement dans la manipulation des objets et l'utilisation des instruments, car les actions de l'un donnent des idées de manipulations à l'autre. Les enfants s'inspirent réciproquement dans une démarche empirique. L'interaction entre pairs a donc modifié le rapport entre l'enfant et son contexte matériel. Au-delà d'une certaine durée de ces expériences matérielles, on peut supposer que les enfants font alors preuve d'une exploration plus créative du contexte. Cet élan expérimental est souvent tâtonnant : certains enfants commencent une action puis en développent une autre ; d'autres s'interfèrent dans les manipulations qu'ils veulent réaliser. Les enfants font donc preuve d'une créativité expérimentale et observationnelle importante, mais à laquelle manque souvent une planification *a priori* de l'activité. A partir du moment où ils développent des attentes précises du contexte, proches de l'hypothèse du scientifique, ils peuvent rencontrer des observations imprévues par leurs schèmes de pensée. C'est ce qui se produit dans la première étude de cas, où l'une des enfants au cours de ses interactions avec sa partenaire et avec le contexte matériel, propose des hypothèses. L'un des effets potentiellement défavorable ici est que le problème est complexe : les arguments des enfants sont régulièrement contredits, ce qui les incite à renouveler leurs expériences. La situation collective tend donc à créer un espace de problème particulier.

Le solitaire s'appuie peu sur les objets proposés – Une des suppositions initiales était que les enfants en situation individuelle s'appuieraient davantage sur le contexte matériel pour élaborer des explications, tandis que les enfants en situation collaborative pourraient utiliser davantage ce temps pour échanger des points de vue. Au contraire, les enfants en situation solitaire manipulent globalement moins les objets et les outils proposés. La situation de travail solitaire n'incite donc pas à manipuler le matériel ; inversement, travailler à deux incite les enfants à se lever et à prendre ces objets et instruments. L'enfant solitaire semble ainsi davantage « dans son monde », plutôt que dans un environnement physique. Ces enfants font tout de même des observations. D'ailleurs, l'entraînement proposé les oblige à prendre les objets en main pour

prédire puis à vérifier empiriquement leur réaction dans l'eau. De plus, ils prennent peu d'objets mais passent ce temps à les regarder, à les soupeser, à les comparer, ce qui constitue une activité de recherche d'indices pour expliquer le phénomène. Cette observation est peu médiatisée par les instruments externes à disposition (balance, pâte à modeler, etc…). Les enfants en situation solitaire ont tendance à explorer ponctuellement l'environnement concret et de manière directe par l'observation, plus que par une appropriation du dispositif instrumental qui leur permettrait de réaliser des mesures et des expérimentations.

L'écrit comme médiation sémiotique en situation solitaire – Contrairement à nos attentes, les enfants qui ne peuvent pas interagir entre eux, ont privilégié une médiation sémiotique importante dans le contexte présent : l'écrit. Ces enfants de 10 ans utilisent concrètement le langage dans la résolution des problèmes, même en situation solitaire. Ils externalisent ainsi un espace de dialogue interne (Wertsch, 1991). Ce faisant, ils créent un problème particulier : trouver personnellement une explication générale, la formuler et l'exprimer. La construction de ce support écrit oblige à se concentrer durablement sur l'objectif d'un discours explicatif synthétique et général. Cette expérience leur permet de synthétiser leurs expériences passées et de reconstruire leur pensée. De plus, cet effort d'écriture leur permet aussi de s'habituer à écrire : en post-test, les enfants des situations IDI et III sont ceux qui mobilisent le plus d'arguments dans les explications générales. La conduite spontanée d'écriture en situation solitaire a donc deux effets : elle donne une forme verbale à la pensée personnelle de l'enfant, et elle forme l'enfant à formuler ses idées de manière plus ou moins synthétique. Au contraire, en travaillant à deux, les enfants passent du temps à échanger des points de vue autour de divers objets et pour négocier leurs activités. Ce faisant, les enfants qui collaborent le plus (groupe DDD) développent des justifications plus étayées. Dans le contexte proposé, les enfants adoptent donc des usages du langage selon qu'ils travaillent seuls ou à plusieurs, ce qui modifie l'activité.

10.2.3 – Un second niveau d'étude : la cognition en « transition »

Distinguer des transitions – Les effets immédiats des situations peuvent s'étendre dans le temps. En effet, les situations se succèdent et les individus qui les traversent s'adaptent. D'autres effets viennent donc peu à peu se superposer ou remplacer les effets immédiats de la situation. Pour comprendre le cheminement de la pensée, il est devient nécessaire de saisir l'articulation des situations. L'unité d'analyse est alors la transition de l'enfant de situation en situation. Il s'agit de comprendre comment les connaissances de l'enfant et les problèmes qu'il rencontre dépendent de la situation présente, mais aussi et peut-être davantage de l'enchaînement des situations. Par exemple, écrire avant de faire une expérimentation ne confronte pas l'enfant au même problème qu'écrire après. Cette recherche apporte une modeste contribution en cela. On y étudie comment l'enfant construit activement au cours du temps des solutions aux problèmes initialement proposés, en fonction d'une suite de situations solitaires et collectives. La vision de l'apprentissage qui se dégage indique un second degré de relativisation à l'approche générale de l'intelligence : ces transitions de situation en situation amènent l'apparition de nouvelles activités et impliquent des changement cognitifs en fonction de la trajectoire. L'apprentissage présente ici des conséquences plus profondes car l'enfant transfère des connaissances entre les situations et fait interagir des habiletés différentes. D'éventuels effets ultérieurs de restructuration cognitive semblent en dépendre. Cette approche est en accord avec une conception vygotskienne de l'intelligence et avec une approche de la cognition située (Lave & Wenger, 1990).

10.2.4 – De l'individuel au dyadique : un effet de préparation

L'intérêt d'une phase solitaire initiale – Une première transition de l'enfant consiste à passer d'une étape solitaire à une étape collective. Dans le groupe IDI, les enfants séparés commencent par faire un travail de prédiction et d'explication. Le passage d'une situation individuelle vers une situation collaborative pourrait apporter un bénéfice dans l'entraînement de ces enfants. Moshman et Geil (1998) et Van Boxtel et al. (2000) ont déjà repéré un effet bénéfique du travail individuel préalable. Les premiers n'étayent pas empiriquement les raisons d'un tel bénéfice. Les seconds expliquent en revanche l'intérêt de ce type d'articulation de situations. Ils suivent des adolescents confrontés à une tâche de physique dans laquelle ils doivent concevoir le fonctionnement de circuits électriques. Certains des participants commencent l'entraînement collaboratif par un travail individuel de seulement cinq minutes et développent ensuite de meilleures conceptions. Ces participants lorsqu'ils travaillent en dyade développent davantage de questions. Les auteurs concluent à un effet de préparation du temps individuel préalable qui activerait certains raisonnements. Dans notre recherche, au moment de travailler ensemble, les participants du groupe IDI donnent des prédictions souvent correctes, et même meilleures que celles du groupe DDD qui travaille aussi en dyade. La situation individuelle préalable soutient de meilleures réponses dyadiques ensuite. On peut conclure effectivement à un effet de préparation individuelle, bien qu'ici on ignore les raisons exactes de cet effet. Il est intéressant cependant de remarquer que ces enfants ont d'abord commencé individuellement par faire des prédictions puis produire une explication générale qui synthétise leurs conceptions. Au moment de travailler ensemble, ils ont déjà élaboré leurs conceptions personnelles. Cet effet peut également être rapproché des résultats de Leman et Oldham (2005) pour qui le travail de rappel d'informations chez les enfants comme chez les adultes (*brainstorming*) est plus important si on regroupe les informations rappelées par des individus séparés, plutôt qu'en dyade. En fait, le travail de rappel dans l'interaction dyadique peut amener une certaine désorientation des stratégies individuelles. Peut-être nos participants ont déjà mobilisé des conduites pour faire des prédictions séparément et au moment de faire des prédictions ensemble, ils articulent des conceptions qu'ils ont auparavant formulé séparément et qui ont davantage de chance ainsi d'être hétérogènes. Il s'agit bien sûr d'une hypothèse mais que nous pourrions étayer par l'analyse des temps de prédiction pendant l'entraînement. Enfin dans le groupe DID, les prédictions sont faites en dyade puis individuellement puis en dyade. Les prédictions dyadiques finales ne sont pas meilleures qu'en début d'entraînement. Ici, le travail individuel qui précède l'étape dyadique finale ne semble pas avoir apporté un gain supplémentaire aux prédictions dyadiques. Dans ce groupe, le travail dyadique initial a donc pu influencer les enfants au moment de faire des prédictions individuelles. Alors, l'étape individuelle n'entraîne pas d'effet de préparation. Il semble bien important que la phase initiale de travail soit individuelle.

10.2.5 – Du dyadique à l'individuel : un effet d'engagement dans l'activité matérielle

Des activités collectives reprises individuellement – Dans cette recherche, il est supposé que la diversité des situations peut amener les enfants à découvrir des types d'activités et à se les approprier par un travail solitaire ultérieur. L'effet le plus intéressant concerne les enfants du groupe DID. Ces enfants commencent par travailler en dyade. Ils mobilisent alors souvent les objets et outils autour d'eux, ce qui correspond à un effet immédiat de la situation d'interaction.

Au moment de se séparer, ils continuent d'utiliser fréquemment ce matériel, au lieu de se désengager de ces manipulations. Cet effet se retrouve également pour les enfants du groupe IDI : après avoir travaillé ensemble, ils continuent généralement de manipuler les objets aussi fréquemment que lorsqu'ils étaient en dyade. Le travail dyadique semble susciter un intérêt pour les activités empiriques, et cet effet se prolonge dans la situation individuelle suivante. Le travail collectif amène donc les enfants, ceux du groupe DID comme ceux du groupe IDI, à s'engager ensuite davantage dans les manipulations matérielles au moment de travailler en solo. Il n'existe à notre connaissance pas de travaux montrant cet effet. En ce sens, l'activité sociale devient un médiateur de la rencontre avec le monde physique. A contrario, il n'y a pas après un temps solitaire d'effet d'engagement des dyades dans l'activité d'écriture : l'activité d'écriture reste typique de la situation solitaire. La collaboration serait donc être favorable à ce que les enfants découvrent des activités qu'ils peuvent ensuite réaliser individuellement. On retrouve ici l'idée vygotskienne d'un développement de l'inter- à l'intra-individuel, avec un processus d'appropriation des pratiques. Quelle importance donner à la situation individuelle finale ? A travers l'évolution des prédictions des enfants du groupe IDI en post-test différé, on peut voir un effet d'incubation (Howe et al., 2005) se produire chez certains enfants. Cet effet indique une restructuration cognitive qui améliore une compétence pourtant précoce des enfants. Il est possible que la phase individuelle finale de l'entraînement, et la phase individuelle de post-test immédiat aident l'enfant à réaliser par lui-même certaines activités en fonction de l'état de ses connaissances. L'étape solitaire finale constituerait ainsi une étape active de restructuration cognitive, mais qu'il reste encore à démontrer.

10.3 – Perspectives de recherche et réflexions éducatives

La méthodologie élaborée s'avère complexe à mettre en place et pour l'analyse des données (plusieurs groupes, plusieurs performances suivies, contexte matériel riche, etc…), alors les données sont fortement hétérogènes. Cependant, ce cadre de recherche a permis en contrepartie de poser des résultats prometteurs. Ceci invite à de nouvelles études. Nous présentons quelques pistes de recherche et des réflexions éducatives.

10.3.1 – Perspectives scientifiques

Des analyses futures des données de thèse – Deux points sont importants pour exploiter plus en profondeur ces données de thèse. Tout d'abord, l'amélioration des échelles d'évaluation des conceptions sur la flottaison. Un premier effort a été fait en ce sens avec une perspective constructiviste (voir chapitre 6). Cela permettra de préciser les évolutions. De plus, les travaux de Howe et al. (2005) indiquent une évolution différente d'enfants qui travaillent en petits groupes, malgré une méthodologie proche. Diverses échelles d'évolution conceptuelle pourraient être nécessaires en fonction de la dynamique d'apprentissage ou de développement étudiée. La reprise des analyses de cas permet de déterminer finement les contradictions que rencontrent les enfants et les changements conceptuels de l'enfant. D'autre part, peu d'études ont cherché à étudier les relations entre la prédiction, la justification et l'explication générale dans le développement des conceptions. Cela permet d'éclairer si certaines performances s'appuient sur d'autres performances et dans quelles conditions, notamment pour comprendre comment des concepts

explicites et des instruments cognitifs implicites interagissent. Il serait fondamental de disposer d'études spécifiques pour suivre l'engendrement réciproque des justifications et des prédictions. Ces analyses peuvent donner un aperçu plus fin des liens entre développement et apprentissage.

Etudier des patterns de conduite et les effets de la transition – Il est important de mieux caractériser les transitions entre les situations, notamment entre les situations solitaires et dyadiques. Diverses techniques sont possibles, plus ou moins expérimentales ou cliniques. Tout d'abord, la reprise d'expérimentation ne comprenant que deux temps d'entraînement pourrait servir à distinguer les effets immédiats et les effets de transition. Il est essentiel pour poursuivre cette thèse de pouvoir déterminer si la situation solitaire a joué un rôle important avant ou après une phase de travail collaboratif. De nouvelles analyses pourraient distinguer des trajectoires (ou *patterns*) de conduites au sein des groupes. Ceci aiderait à mieux comprendre comment certains enfants peuvent tirer profit des étapes de séparation ou de regroupement.

Des situations plus ou moins spécifiques à certaines activités – Enfin, le changement ou la continuité des situations nous interroge sur les activités mises en place. Il a déjà été indiqué que les activités mises en place sont différentes en fonction des articulations de situations. Une nouvelle étude expérimentale pourrait comparer les conditions DDD et IDI selon que les tâches données sont les mêmes à chaque étape (c'est le cas dans cette recherche) ou bien diffèrent. Dans ce dernier cas de figure, l'expérimentateur peut demander aux enfants d'explorer simplement les objets dans une phase initiale, puis d'explorer les objets à l'aide des outils dans une deuxième phase, et finalement d'écrire une explication générale au dernier temps d'entraînement. Cette étude permettrait de comprendre comment l'articulation des situations et la réalisation des activités s'imbriquent. Une méthodologie complémentaire plus ergonomique serait également intéressante : Afin de mieux pénétrer les activités réalisées et les difficultés rencontrées, une reprise de l'expérimentation avec une analyse de l'activité par les enfants pourrait nous apporter un regard plus fin sur les possibilités des enfants selon les suites de situations : par exemple la technique de l'auto-confrontation croisée consiste à faire visionner les enregistrements de l'étude aux participants pour qu'ils décrivent leurs activités (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001).

10.3.2 – Une autre perspective de recherche : l'interprétation des situations

Deux contraintes orientent socialement la cognition des enfants – Dans cette recherche, la tâche confiée est ouverte, représentative de la complexité de la pensée scientifique. L'enfant perçoit un phénomène composite d'où émergent de nombreuses contradictions. On peut s'interroger sur la façon dont les enfants interprètent le changement de situation imposé par l'adulte et modifient leurs conceptions. Dans un cadre scolaire, les enfants de 10 ans ont en effet d'excellentes compétences pragmatiques pour comprendre les intentions de l'adulte et le contrat didactique qui sous-tend leurs relations (Brousseau, 1980 ; Schubauer-Leoni, 1986). Habituellement, l'évolution de l'élève est encadrée par l'adulte dans un processus d'étayage (Bruner, 1983). L'enseignant fait par exemple remarquer certaines contradictions : un bateau flotte alors qu'une bille coule. Il peut s'appuyer sur des contradictions qu'il désigne à l'enfant, pour l'amener à réviser sa connaissance. La complexité du phénomène physique se double d'une complexité sociale. Dans le cadre expérimental de cette recherche, l'enfant repère deux contraintes qui peuvent orienter ses réponses. Tout d'abord, l'expérimentateur ne donne pas de feedback, alors que les conduites scolaires sont généralement tutorées : les enfants ne savent pas

si leurs réponses sont acceptables. Cette incertitude est aggravée par une seconde contrainte. L'expérimentateur répète la même consigne. Des expériences ont montré que lorsque l'adulte répète une consigne, l'enfant change ses réponses (Baucal & Stepanovic, 2006 ; Iannaccone & Perret-Clermont, 1993 ; Rose & Blank, 1974). Le déroulement social de l'entraînement est ainsi interprétable par l'enfant : l'adulte a demandé de résoudre un problème, une réponse a été donnée à cet adulte, et l'adulte a réitéré sa demande. Pour l'enfant, cela signifie implicitement que la réponse attendue par l'adulte ne lui a pas été donnée. La répétition de la consigne impliquerait de remettre en question les réponses : par exemple, après avoir fait appel à la masse ou à la matière des objets, de nombreux enfants se tournent vers d'autres explications.

La variation des situations solitaires et collective est interprétée – Cette double contrainte n'est pas perçue de la même manière selon les groupes. Dans les entraînements qui alternent les situations individuelles et collectives, les enfants perçoivent un changement supplémentaire : l'adulte donne une même consigne mais après avoir modifié les consignes de travail. Si les enfants après avoir travaillé seuls sont réunis, cela peut être interprété comme une intention délibérée de l'adulte du fait de la réponse donnée : l'adulte veut les amener à faire mieux ou autrement en travaillant ensemble. Si au contraire, après avoir travaillé à deux, l'enfant doit travailler seul, celui-ci peut penser que l'adulte ne remet pas en question la réponse, mais souhaite à présent que l'enfant sache résoudre individuellement. Dans le groupe DID effectivement, la masse de l'objet n'est généralement pas remise en cause à ce deuxième temps d'entraînement. Il faut attendre que l'adulte redonne la consigne de travailler à nouveau ensemble pour que les enfants changent cet argument. L'alternance des situations solitaires et collaboratives fait l'objet d'interprétations des enfants et cela change la tâche perçue par l'enfant. Au-delà du processus de définition de la situation (Park & Moro, 2006), l'enfant interprète l'enchaînement des situations.

10.3.3 – Réflexion pour l'éducation en contexte scolaire

Un parcours socio-cognitif prototypique – Nous avons choisi de focaliser l'attention sur l'intérêt de faire travailler les élèves individuellement, et sur l'articulation de ces situations avec des temps collaboratifs. Certains cursus de situations solitaires et dyadiques sont plus favorables que d'autres. Dans cette étude, il semble préférable de faire travailler des enfants de 10 ans en solo, puis en dyade, puis en solitaire. En effet le premier temps individuel de travail permet à l'enfant d'investir l'activité, de mobiliser ses habiletés cognitives et surtout de redévelopper le problème vu à travers ses propres moyens cognitifs. Ensuite, il semble préférable de l'amener à travailler en dyade. En laissant plus de temps à l'interaction, l'enfant construit une compréhension partagée du problème et enrichi son point de vue, par exemple en intégrant des arguments ou de nouvelles pratiques. Enfin, un temps de reprise solitaire du problème permettrait à l'enfant de revisiter les contradictions qui s'imposent à lui du fait de son état actuel de connaissance, de s'approprier des procédures et de re-élaborer ses habiletés. Ce cursus individuel-dyadique-individuel parait prototypique dans cette recherche.

Les compétences en situation solitaire – Face à un même problème, les enfants peuvent se conduire différemment s'ils sont en situation collaborative ou s'ils sont en solitaire. Notamment l'enfant en situation solitaire peut être amené à se concentrer sur des processus de confrontation plus directe à l'objet et d'expression synthétique de son point de vue, par exemple

avec l'écriture. Faire travailler seul permet de plus à l'enseignant de donner des feedbacks personnalisés à l'enfant et de l'aider à s'ajuster face au problème tel que l'enfant le perçoit. Ceci explique que le feedback de l'adulte serait moins pertinent quand les enfants travaillent ensemble (Tudge & Winterhoff, 1993 ; Tudge et al., 1996).

Le sens des situations – L'enfant n'a pas la vision de l'adulte de la façon dont les situations didactiques sont planifiées. A chaque instant il doit décrypter par rapport aux situations précédentes ce qui est attendu, et vers quel objectif le conduit l'enseignant. Il a pour cela des repères implicites : la consigne d'une tâche, les réponses des pairs, les retours de l'enseignant, etc… Il y a un intérêt à s'interroger sur l'articulation des situations d'un point de vue de l'adulte mais également du point de vue de l'enfant. Ce type d'analyse permet notamment de donner un sens beaucoup plus concret aux processus habituellement cités en psychologie (participation, appropriation, intériorisation, transfert, restructuration…).

BIBLIOGRAPHIE

Ackerman, E. (2007). Experiences of Artifacts: People's Appropriation/Object's 'Affordances'. In E. Von Glasersfeld (Ed.), *Keyworks in radical constructivism* (pp. 249-259). Rotterdam: Sense Publishers.

Alcorta, M. (2001). Utilisation du brouillon et développement des capacités d'écrit. *Revue française de pédagogie, 137,* 95-103.

Ames, G. J., & Murray, F. B. (1982). When two wrongs make a right: Promoting cognitive change by social conflict. *Developmental Psychology, 18*(6), 894-897.

Amigues, R (1988). Peer interaction in solving physics problems: sociocognitive confrontation and metacognitive aspects. *Journal of Experimental Child Psychology, 45*(1), 141-158.

Anderson, T., Howe, C., Soden, R., Halliday, J., & Low, J. (1999). Peer interaction and the learning of critical thinking skills in further education students. *Instructional Science, 29,* 1-32.

Anderson, T., & Soden, R. (2001). Peer interaction and the learning of critical thinking skills. *Psychology Learning and Teaching, 1*(1), 37-40.

Anzieu, D., & Martin, J. (1968). *La dynamique des groupes restreints.* Paris : PUF.

Atten, M., & Pestre, D. (2002). *Heinrich Hertz. L'administration de la preuve.* Paris : PUF.

Au, T. K. (1994). Developing an intuitive understanding of substance kinds. *Cognitive Psychology, 27,* 71-111.

Augustinova, M., Oberlé, D., & Stasser, G. L. (2005). Differential Access to Information and Anticipated Group Interaction: Impact on Individual Reasoning. *Journal of Personality and Social Psychology, 88,* 619-631.

Azmitia, M. (1988). Peer interaction and problem solving: When are two heads better than one? *Child Development, 59,* 87-96.

Azmitia, M. (2000). Taking time out from collaboration: opportunities for synthesis and emotion regulation. In R. Joiner, K. Littleton, D. Faulkner, & D. Miell, D. (Eds.) *Rethinking Collaborative Learning* (pp. 179-189). London : Free Association Books.

Azmitia, M. A., & Crowley, K. (2001). The rhythms of scientific thinking: A study of collaboration in an earthquake microworld. In K. Crowley, C. D. Schunn, & T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* (pp. 47-77). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique.* Paris : PUF.

Bachelard, G. (1961). *La flamme d'une chandelle.* Paris : PUF.

Baillargeon, R. (2002). The Acquisition of Physical Knowledge in Infancy: A Summary in Eight Lessons. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (pp. 47-83). Oxford : Blackwell.

Baker, M. (1996). Argumentation et co-construction de connaissances. *Interaction et cognitions, 1*(2-3), 157-191.

Baucal, A., & Stepanovic I. (2006). Conservation or conversation: a test of the repeated question hypothesis. *Psihologija, 39*, 257-275.

Baudrit, A. (1997). *Apprendre à deux. Études psychosociales de situations dyadiques.* Paris : PUF.

Bonechi, S. (2008). *How they make me suffer... A short biography of Galileo Galilei.* Florence : Istituto e Museo di Storia Della Scienza. Retrieved February, 8th 2011 : http://brunelleschi.imss.fi.it/itineraries/pdf/GalileoBiography.pdf

Borghi, A.M. (2005). Object concepts and action. In D. Pecher, & R.A. Zwaan (Eds.). *Grounding Cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking* (pp. 8-34). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Bovet, M., Parrat-Dayan, S., & Vonèche, J. (1985). Comment engendrer une explication causale par apprentissage ? 1 - Le rôle du dialogue. *Enfance, 40*(4), 297-308.

Brainerd, C. J., & Allen, T. W. (1971). Training and transfer of density conservation: Effects of feedback and consecutive similar stimuli. *Child Development, 42,* 639-704.

Brodbeck, F. C., & Greitemeyer, T. (2000). A dynamic model of group performance: Considering the group members' capacity to learn. *Group Processes and Intergroup Relations, 3*, 159-182.

Brossard, M. (1989). Espace discursif et activités cognitives : un apport de la théorie vygotskienne. *Enfance, 42*(1-2), 49-56.

Brousseau, G. (1980). L'échec et le contrat. *Recherches, 41,* 177-182.

Bruner, J. S. (1966). *Towards a Theory of Instruction.* Cambridge, MA : Harvard University Press.

Bruner, J. S. (1983). *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire.* Paris : PUF.

Bruner, J. S., Goodnow, J. G. & Austin, G. A. (1956). *A Study of Thinking.* New York, NY : Wiley.

Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood.* Cambridge, MA: Bradford Books, MIT Press.

Carey, S. (1993). The origin and evolution of everyday concepts. In R. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. XV).* Minneapolis, MI : University of Minnesota Press, 89-128.

Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. New York, NY: Oxford University Press.

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist, 28*(*3*), 235-251.

Carugati, F. (2001). Interactions, déstabilisations, conflits. In A.-N. Perret-Clermont, & M. Nicolet (Eds.), *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif* (pp. 103-111). Paris : L'Harmattan.

Carugati, F., & Mugny, G. (1985). La théorie du conflit sociocognitif. In G. Mugny (Ed.), *Psychologie sociale du développement cognitif* (pp. 57-70). Berne : Peter Lang.

Cesar, M., Perret-Clermont, A.-N., & Benavente, A. (2000). Modalités de travail en dyades et conduites à des tâches d'algèbre chez des élèves portugais. *Revue suisse des sciences de l'éducation, 3*, 443-466.

Chalmers, A. (1991). *La fabrication de la science.* Paris : La Découverte.

Chazal, G. (2004). *Les médiations théoriques.* Seyssel : Champ Vallon.

Clot, Y., Faita, D., Fernandez, G., & Scheller, l. (2001). Entretiens en autoconfrontation croisée: une méthode en clinique de l'activité. *Education Permanente, 146*(1), 17-25.

Cohen, E. G. (1994). Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups. *Review of Educational Research. 64*, 1-35.

Colburn, A. (2000). Constructivism: Science education's "grand unifying theory." *The Clearing House, 74*(1), 9-12.

Cole, H., & Raven, R. (1969). Principle learning as a function of instruction on excluding irrelevant variables. *Journal of Reasearch in Science Teaching*, 6, 234-241.

Csikszentmihalyi, M., & Sawyer, K. (1995). Creative insight: The social dimension of a solitary moment. In R. Steinberg & J. Davidson (Eds.) *The Nature of Insight* (pp. 329-361). Cambridge, MA : MIT Press.

Denney, N. W., Zeytinoglu, S., & Seizer, S. C. (1977). Conservation training in four-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology, 24*, 129-146.

DeVries, R. (2000). Vygotski, Piaget, and education: a reciprocal assimilation of theories and educational practices. *New Ideas in Psychology, 18*, 187-213.

DeVries, E., Lund, K., & Baker, M. (2002). Computer-mediated epistemic dialogue: Explanation and argumentation as vehicles for understanding scientific notions. *The Journal of the Learning Sciences, 11*(1), 63-103.

Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning?. In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative-learning: cognitive and computational approaches* (pp. 1-19). Oxford : Elsevier.

Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A., & O'Malley, C. (1996). The evolution of research on collaborative learning. In E. Spada, & P. Reiman (Eds.), *Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 189-211). Oxford : Elsevier.

diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: threads and fault lines. In. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 265-282). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Doise, W. (1983). Tensions et niveaux d'analyse en psychologie sociale expérimentale. *Connexions, 42*, 57-72.

Doise, W., Deschamps, J.-C., & Mugny, G. (1991). *Le conflit socio-cognitif*. Paris : Armand Colin

Doise, W., & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Paris : Interéditions.

Doise, W., & Mugny G. (1997). Le raisonnement formel : nouvelles perspectives. In W. Doise, & G. Mugny (Eds.), *Psychologie sociale et développement cognitif* (pp. 191-206). Paris : Armand Colin.

Doise, W., Mugny, G., & Perret-Clermont, A.-N. (1975). Social interaction and the development of cognitive operations. *European Journal of Social Psychology, 5*(3), 367-383.

Driver, R., Newton, P., & Osbourne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education, 84,* 287-312.

Ducret, J.-J. (2004). *Méthode clinique-critique piagétienne.* Genève: Service de la recherche en éducation (SRED). Retrieved February, 8th 2011 from : . http://www.geneve.ch/sred/collaborateurs/pagesperso/d-h/ducretjean-jacques/Methode_critique.pdf

Ebersbach, M. (2009). Achieving a New Dimension: Children Integrate Three Stimulus Dimensions in Volume Estimations. *Developmental Psychology, 45*(3), 877–883.

Engeström, Y. (2005). *Developmental work research*: *Expanding activity theory in practice.* Berlin : Lehmanns Media.

Engeström, Y., Miettinen, R., & Punamäki, R.-L. (1999). *Perspectives on Activity Theory.* New York : Cambridge University Press.

Espagnat, B. (d') (2002). *Traité de physique et de philosophie.* Paris : Fayard.

Festinger, L. (1956/1993). *L'échec d'une prophétie : psychologie sociale d'un groupe de fidèles qui prédisaient la fin du monde.* Paris : PUF.

Freudenthal, A. (1977). Bastiaan's Experiments on Archimedes' Principle. *Educational Studies in Mathematics, 8*(1), 3-16.

George, C. (1983). *Apprendre par l'action.* Paris : PUF.

Gibson, J. J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Giere, R. (2002). Scientific cognition as distributed cognition. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Seigal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 285-299). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Gilly, M. (2001). Interactions entre pairs et constructions cognitives : modèles explicatifs. In A.-N. Perret-Clermont, & M. Nicolet (Eds.), *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif* (pp. 21-32). Paris : L'Harmattan.

Granott, N. (1998). Unit of analysis in transit: From the individual's knowledge to the ensemble process. *Mind, Culture, and Activity, 5*(1), 42-66.

Gredler, M. E. (2009). Hiding in plain sight: The stages of mastery/self-regulation in Vygotski's cultural-historical theory. *Educational Psychologist, 44*(1), 1-19.

Greeno, J. G. (1994). Gibson's Affordances. *Psychological Review, 101*(2), 336-342.

Grize, J.-B. (1998). Argumenter c'est davantage montrer que demontrer. In A. Borzeix, A. Bouvier, & P. Pharo (Eds.), *Sociologie, & Connaissances* (pp. 197-203). Paris : CNRS Editions.

Grossen, M. (1999). Approche dialogique des processus de transmission/acquisition de savoirs : une brève introduction. *Actualités psychologiques, 7*, 1-32.

Guidetti, M. (2003). *Pragmatique et psychologie du développement : Comment communiquent les enfants.* Paris : Belin.

Halford, G. S., Brown, C. A., & Thompson, R. M. (1986). Children's concepts of volume and flotation. *Developmental Psychology, 22,* 218–222.

Hannoun, M. (1993). *Solitudes et sociétés.* Paris : PUF.

Hardy, I., Schneider, M., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2005). Fostering diagrammatic reasoning in science education. *Swiss Journal of Psychology, 64*(3), 207-217.

Havu-Nuutinen, S. (2005). Examining young children's conceptual change process in floating and sinking from a social constructivist perspective. *International Journal of Science Education, 27*(3), 259-279.

Heath, T. L. (1897). *The Works of Archimedes.* Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Herrenkohl, L., Palincsar, A. S., DeWater, & Kawasaki, K. (1999). Developing scientific communities in classrooms: A sociocognitive approach. The *Journal of the Learning Sciences, 8*(3-4), 451-494.

Houdé, O. (1993). La référence logico-mathématique en psychologie. In O. Houdé, & D. Miéville (Eds.), *Pensée logico-mathématique. Nouveaux objets interdisciplinaires* (pp. 47-119). Paris : PUF.

Howe, C. (1998). *Conceptual structure in childhood and adolescence.* London : Routledge.

Howe, C. (2009). Conceptual structure in childhood and adolescence. *Human Development, 52*, 215-239.

Howe, C., McWilliam, D., & Cross, G. (2005). Chance favours only the prepared mind: Incubation and the delayed effects of peer collaboration. *British Journal of Psychology, 96*(1), 67-94.

Howe, C., Tolmie, A., & Rodgers, C. (1990). Physics in the primary school: Peer interaction and the understanding of floating and sinking. *European Journal of Psychology of Education, 5*(4), 459-475.

Howe, C., & Tolmie, A. (2003). Group work in primary school science: Discussion, consensus and guidance from experts. *International Journal of Educational Research, 39*, 51-72.

Hughes, M., & Greenbough, P. (1995). Feedback, adult intervention, and peer collaboration in Initial LOGO learning. *Cognition, 13*(4), 525-539.

Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge, MA : MIT Press.

Iannaccone, A., & Perret-Clermont, A.-N. (1993). Qu'est-ce qui s'apprend, qu'est-ce qui se développe? In J. Wassmann, & P. Dasen (Eds.), *Les savoirs quotidiens, les approches cognitives dans le dialogue interdisciplinaire* (pp. 235-258). Fribourg : Presses Universitaires de Fribourg.

Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent.* Paris : PUF.

Inhelder, B., Sinclair, H., & Bovet, M. (1974). *Learning and the Development of Cognition.* London : Routledge & Kegan Paul.

Jackson, A., Kutnick, P., & Kington, A. (2001). Principles and practical grouping for the use of drill and practice programs. *Journal of Computer Assisted Learning, 17*, 130–141.

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1985). *Learning together, & alone. Cooperative, competitive, & Individualistic Learning*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.

Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science.* Cambridge, MA : MIT Press.

Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. (1975). If you want to go ahead, get a theory. *Cognition, 3*(3), 195-212.

Karpov, Y. V. (2009). Vygotski et les concepts scientifiques. Implications pour l'éducation contemporaine. In A. Kozulin, B. Gindis, V. S. Ageyev, & S. M. Miller (Eds.), *Vygotski et l'éducation. Apprentissages, développement et contextes culturels* (pp. 59-75). Paris : Retz.

Klein, P. D. (2000). Elementary students' strategies for writing-to-learn in science. *Cognition and Instruction, 18*, 317-348.

Kloos, H., Fisher, A., & Van Orden, G. C. (2010). Situated Naive Physics: Task Constraints Decide what Children Know about Density. *Journal of Experimental Psychology: General, 139*(4), 625-637.

Kohn, A. (1993). Preschooler's knowledge about density: Will it float?. *Child Development, 64*, 1637-1650.

Koslowski, B. (1996). *Theory and Evidence: The Development of Scientific Reasoning.* Cambridge, MA : MIT Press.

Koslowski, B., & Masnick, A. (2002). The development of causal reasoning. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 257-281). Oxford : Blackwell Publishing.

Kuhn, D. (1996). Thinking as Argument. In L. Smith (Ed.), *Critical Readings on Piaget* (pp. 120-146). London : Routledge.

Kuhn, T. (1962/1983). *La structure des révolutions scientifiques.* Paris : Flammarion.

Lakatos, I. (1994). *Histoire et méthodologie des sciences : programmes de recherche et reconstruction rationnelle.* Paris : PUF.

Latour, B. (1993). *Petites leçons de sociologie des sciences.* Paris : La Découverte.

Latour, B. (1996). *La Science en action : introduction à la sociologie des sciences.* Paris : Gallimard.

Laurendeau, M., & Pinard, A. (1962). *Causal thinking in the Child. A genetic and experimental approach.* New York, NY : International Universities Press.

Lave, J., & Wenger, E. (1990). *Situated Learning: Legitimate Periperal Participation.* Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Lécuyer, R. (Ed.) (2004). *Le développement du nourrisson : Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant.* Paris : Dunod

Lehrer, R., Schauble, L., & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development, 23*, 512–529.

Leman, P. J., & Oldham, Z. (2005). Do children need to learn to collaborate? The effects of age and age differences on children's collaborative recall. *Cognitive Development, 20,* 33-48.

Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.

Leontiev, A. N. (1975/1984). *Activité, conscience, personnalité.* Moscou : Editions du Progrès.

Leoni, V., & Mullet, E. (1991). Processus cognitif, tests de connaissances et différences individuelles. *Spirale, Revue semestrielle de l'École Normale de Lille, 5,* 75-98.

Levin, I., & Druyan, S. (1993). When socio-cognitive transaction among peers fails: The case of misconceptions in science. *Child Development, 64*, 1571-1591.

Long, C. R., Seburn, M., Averill, J. R., & More, T. A. (2003). Solitude experiences: Varieties, settings, and individual differences. *Personality and Social Psychology Bulletin, 29,* 578-583.

Louisell, R. D., & Descamps, J. (2001). *Developing a Teaching Style. Methods for Elementary School Teachers.* Prospect Height : Waveland Press.

Lubart, T., Mouchiroud, C. Tordjman, S., & Zenasni, F. (2003). *Psychologie de la créativité.* Paris : Colin.

Marti, E. (1996). Mechanisms of internalisation and externalisation of knowledge in Piaget's and Vygotski's theories. In A. Tryphon, & J. Vonèche (Eds.), *Piaget-Vygotski : the social genesis of thought* (pp. 57-84). Hove : Psychology Press.

Matusov, E. (1998). When solo activity is not privileged: Participation and internalization models of development. *Human Development, 41*(5-6), 326-349.

Medin, D. L., Lynch, E. B., & Solomon, K. O. (2000). Are there kinds of concepts? *Annual Review of Psychology, 51*, 121-147.

Meyerson, E. (1907/1926). *Identité et réalité.* Paris : Vrin.

Mortimer, E. F., & Wertsch, J. V. (2003). The Architecture and Dynamics of Intersubjectivity in Science Classrooms. *Mind, Culture, and Activity, 10*(3), 230-244.

Moscovici, S., & Paicheler, G. (1973). Travail, individu et groupe. In S. Moscovici (Ed.), *Introduction à la psychologie sociale* (pp. 9-44). Paris : Larousse.

Moshman, D., & Geil, M. (1998). Collaborative reasoning: Evidence for collective rationality. *Thinking and Reasoning, 4*(3), 231-248.

Mugny, G. (1985) (Ed.). *Psychologie sociale du développement cognitif.* Berne : Peter Lang.

Mugny, G., De Paolis P., & Carugati, F. (1984). Social regulations in cognitive development. In W. Doise, & A. Palmonari (Eds.), *Social interaction in individual development* (pp. 127-146). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Muller Mirza, N., Perret-Clermont, A.-N., Tartas, V., & Iannaccone, A. (2009). Psychosocial processes in argumentation. In N. Muller Mirza, & Perret-Clermont, A.-N. (Eds.), *Argumentation and Education* (pp. 67-90). New-York, NY : Springer.

Murphy, N., & Messer, D. (2000). Differential Benefits from Scaffolding and Children Working Alone. *Educational Psychology, 20*(1), 17-31.

Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat?. *Philosophical Review, 83,* 435-450.

Nelson, K. (1989). *Narratives from the crib.* Cambridge, MA : Harvard University Press.

Paavola, S., & Hakkarainen, K. (2005). The Knowledge Creation Metaphor – An Emergent Epistemological Approach to Learning. *Science & Education, 14,* 535-557

Palmieri, P. (2005). The Cognitive Development of Galileo's Theory of Buoyancy. *Archive for History of Exact Sciences, 59,* 189-222.

Park, D. S., & Moro, Y. (2006). Dynamics of Situation Definition. *Mind, Culture, and Activity, 13*(2), 101–129.

Penner, D. E., & Klahr, D. (1996). The interaction of domain-specific knowledge and domain-general discovery strategies: A study with sinking objects. *Child Development, 67,* 2709-2727.

Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2005). Dimensions of causal understanding: The role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education, 41,* 117-166.

Perret-Clermont, A.-N. (1979/1996). *La construction sociale de l'intelligence dans l'interaction sociale.* Berne : Peter Lang.

Perret-Clermont, A-N. (1993). What is that develops?. *Cognition and Instruction, 11*(3-4), 197-205.

Perret-Clermont, A.-N. (2001). Psychologie sociale de la construction de l'espace de pensée. In J. J. Ducret (Ed.), Actes du colloque. Constructivisme: usages et perspectives en éducation (Vol. 1, pp. 65-82). Genève : Service de la recherche en éducation.

Perret-Clermont, A.-N. (Ed.), & Nicolet, M. (2001). *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif.* Paris : L'Harmattan.

Piaget, J. (1923a). *Le langage et la pensée chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1923b/1947). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant.* Paris : Félix Alcan.

Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant.* Paris : Félix Alcan.

Piaget, J. (1929). Les deux directions de la pensée scientifique. *Archives des Sciences Physique et Naturelles, 134,* 145–162.

Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux, & Niestlé.

Piaget, J. (1945). *La formation du symbole chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1947). Les facteurs sociaux du développement intellectuel. In J. Piaget, *La psychologie de l'intelligence* (pp. 186-198). Paris : Armand Colin.

Piaget, J. (1968). Quantification, conservation and nativism. *Science, 162,* 976-979.

Piaget, J. (1970). *L'épistémologie génétique.* Paris : PUF.

Piaget, J. (1974a). *Réussir et comprendre.* Paris : PUF.

Piaget, J. (1974b). *La prise de conscience.* Paris : PUF.

Piaget, J. (1974c). *Recherches sur la contradiction.* Paris : PUF.

Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement.* Paris : PUF.

Piaget, J., & Chatillon, J.-F. (1975). Solubilité, miscibilité et flottaison. *Archives de Psychologie, 43,* 27-46.

Piaget, J., & Garcia, R. (1971). *Les explications causales.* Paris : PUF.

Piaget, J., & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des Sciences.* Paris : Flammarion.

Piaget, J., Grize, J.-B., Szeminska, A., & Bang, V. (1968). *Epistémologie et psychologie de la fonction.* Paris : PUF.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant.* Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Pine, K. J., Lufkin, N., & Messer, D. J. (2004). More gestures than answers: Children learning about balance. *Developmental Psychology. 40*(6), 1059-1067.

Pine, K. J., & Messer, D. J. (1998). Group collaboration effects and the explicitness of children's knowledge. *Cognitive Development, 13,* 109-126.

Pine, K. J., & Messer, D. J. (2000). The effect of explaining another's actions on children's implicit theories of balance. *Cognition and Instruction, 18,* 35–51.

Pontecorvo, M. (1988). Interactions socio-cognitives et acquisition des connaissances en situation scolaire : contextes théoriques, bilan et perspectives. *European Journal of Psychology of Education, 3*(4), 139-149.

Popper, K. (2008). *Conjectures et réfutations : la croissance du savoir scientifique.* Paris : Payot.

Psaltis, C. (2005). *Social relations and cognitive development: the influence of conversation types and representations of gender* (Thèse de doctorat non-publiée). Department of social and political science, University of Cambridge, Cambridge, MA.

Puncochar, J. M., & Fox, P. W. (2004). Confidence in individual and group decision making: When "two heads" are worse than one. *Journal of Educational Psychology, 96,* 582-591.

Rabardel, P., & Pastré, P. (Eds.) (2005). *Modèles du sujet pour la conception – Dialectiques activités et développement.* Toulouse : Octarès.

Rabardel, P., & Vérillon, P. (1985). *Relations aux objets et développement cognitif.* Papier présenté dans Actes des 7ème Journées internationales de l'éducation scientifique de Chamonix.

Rappolt-Schlichtmann, G., Tenenbaum, H., Keopke, M., & Fischer, K. (2007). Transient and robust knowledge: Contextual support and the dynamics of children's reasoning about density. *Mind, Brain, and Education , 1(2),* 98-108.

Ravenscroft, A., Wegerif, R. B., & Hartley, J. R. (2007). Reclaiming thinking: dialectic, dialogic and learning in the digital age. *Special Issue of British Journal of Educational Psychology: Psychological Insights into the Use of New Technologies in Education, 11*(5), 39-57.

Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction, 18*(1), 1-34.

Rogoff, B. (1998). Cognition as a collaborative process. In W. Damon (Ed.), *Handbook of Child Psychology* (5ème ed., pp. 679-744). New York, NY : Wiley.

Rogoff, B. (2003). Interdependence and autonomy. In B. Rogoff (Ed.), *The cultural nature of human development* (pp. 194-235). New York, NY : Oxford University Press.

Rose, S. A., & Blank, M. (1974). The potency of context in children's cognition: an illustration through conservation. *Child Development, 45,* 499-502.

Roubtsov, V. (1991/2004). Activité en commun et acquisition de concepts théoriques par les écoliers sur le matériel de physique. In C. Garnier, N. Bednarz, & I. Ulanovskaya (Eds.), *Après Vygotski et Piaget. Perspectives sociale et constructiviste. Ecoles russe et occidentale* (2nd ed., pp. 219-240). Bruxelles, Belgique : De Boeck.

Schauble, L. (1996). The development of Scientific Reasoning in Knowledge Rich-Contexts. *Developmental Psychology, 32*(1), 102-119.

Schleifer, M. (1989). Le conflit cognitif chez Piaget: une interprétation. In N. Bednarz, & C. Gamier (Eds.), *Construction des savoirs. Obstacles, & conflits* (pp. 156-162). Montreal : Agende d'Arc.

Schubauer-Leoni, M.-L. (1986) Le contrat didactique : un cadre interprétatif pour comprendre les savoirs manifestés par les élèves en mathématique. *Journal européen de psychologie et de sciences de l'éducation, 1*(2), 139-153.

Schubauer-Leoni, M.-L., & Perret-Clermont, A.-N. (1997). Social interactions and mathematics learning. In T. Nunes, & P. Bryant (Eds.), *Teaching and learning mathematics: An international perspective* (pp. 265–283). Hove : Psychology Press Ltd.

Schwartz, B. B., Neuman, Y., & Biezuner, S. (2000). Two wrongs may make a right...if they argue! *Cognition and Instruction, 18*(4), 461-494.

Siegal, M. (2002). The science of childhood. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 300-315). Cambridge, MA : Cambridge University Press.

Siegel, D., Esterly, J., Callanan, M., Wright, R., & Navarro. R. (2007). Conversations about science across activities in Mexican-descent families. *International Journal of Science Education, 29*(12), 1447-1466.

Skoumios, M. (2009). The Effect of Socioconitive Conflict on Students' Dialogic Argumentation about Floating and Sinking. *International Journal of Environmental, & Science Education, 4*(4), 381-399.

Smedslund, J. (1966). Les origines sociales de la décentration. In F. Bresson, & M. de Montmollin (Eds.), *Psychologie et épistémologie génétique* (pp. 159-167). Paris : Dunod.

Smith, C., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differenciation : A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition, 21*(3), 177-237.

Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992) Using conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight/density differentiation. *Cognition and Instruction, 9*(3), 221-83.

Smith, L. (1996). The social construction of rational understanding. In A. Tryphon, & J. Vonèche (Eds.), *Piaget-Vygotsky: the social genesis of thought* (pp. 107-123). Hove : Psychology Press.

Snir, J. (1991). Sink or Float-What do the experts think?: The Historical Development of Explanations for Floatation. *Science Education, 75,* 595-609.

Solitude (1992). *Le Petit Larousse Illustré 1992*. Paris : Larousse.

Solitude (2000). *Le Petit Robert : dictionnaire de la langue française*. Paris : L.R.

Solomon, K. O., Medin, D. L., & Lynch, E. B. (1999). Concepts do more than categorize. *Trends in Cognitive Science, 3*(3), 99-105.

Sorsana, C. (1997). Affinités enfantines et co-résolution de la Tour de Hanoï. *Revue Internationale de Psychologie Sociale, 10*(1), 51-74.

Sorsana, C. (1999). *Psychologie des interactions sociocognitives*. Paris : Armand Colin.

Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction, 4,* 113–116.

Spelke, E. S. (1990). Principles of object perception. *Cognitive Science (14),* 29-56.

Stetsenko, A. (2005). Activity as object-related: Resolving the dichotomy of individual and collective. planes of activity. *Mind, Culture, and Activity, 12,* 70–88.

Stinner A., McMillan, B., Metz, D., Jilek, J., & Klassen, S. (2003). The Renewal of Case Studies in Science Education. *Science, & Education, 12,* 617-643.

Strasser, T. Panagopoulou, E., Runnels, C., Murray, P., Thompson, N., Karkanas, P., ...Wegmann, K. (2010). Stone Age seafaring in the Mediterranean: Evidence from the Plakias region for Lower Palaeolithic and Mesolithic habitation of Crete. *Hesperia, 79*(2), 145-190.

Tartas, V. (2009). *La construction du temps social par l'enfant.* Berne : Peter Lang.

Tenenbaum, H. R., Rappolt-Schlichtmann, G., & Vogel Zanger, V. (2004). Children's learning about water in a museum and in the classroom. *Early Childhood Research Quarterly, 19(*1), 40-58.

Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton : Princeton University Press.

Thagard, P. (2003). Conceptual change. In L. Nadel (Ed.), *Encyclopedia of Cognitive. Science, vol. 1* (pp. 666-670). London : Macmillan.

Thompson, R. (2008). Collaborative and Social Remembering. In G. Cohen, & M. A. Conway, *Memory in the Real World (3rd Ed.)* (pp. 249-268). Hove : Psychology Press.

Thouin, M. (1985). Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes. *Revue des sciences de l'éducation, 11*(2), 247-258.

Tiberghien, A. (2004). Causalité dans l'apprentissage des sciences. *Intellectica, 38*(1), 69-102.

Tolmie, A., Howe, C.J., Mackenzie, M., & Greer K. (1993). Task design as an influence on dialogue and learning: Primary school group work with object flotation. *Social Development, 2,* 183-201.

Tudge, J. R. H. (1989). When collaboration leads to regression: Some negative consequences of socio-cognitive conflict. *European Journal of Social Psychology, 19,* 123-138.

Tudge, J. R. H. (1992). Processes and consequences of peer collaboration: A Vygotskian analysis. *Child Development, 63*(6), 1364-1379.

Tudge, J. R. H., & Hogan, D. M. (1999). Implications of Vygotski's Theory for Peer Learning. In A. M. O'Donnell, & A. King (Eds.) *Cognitive Perspecitves on Peer Learning* (pp. 39-65). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

Tudge, J. R. H., & Winterhoff, P. A. (1993). Can young children benefit from collaborative problem solving? Tracing the effects of partner competence and feedback. *Social Development, 2*, 242-259.

Tudge, J. R. H., Winterhoff, P. A., & Hogan, D. M. (1996). The cognitive consequences of collaborative problem solving with and without feedback. *Child Development, 67,* 2892-2909.

Valsiner, J. (2006). The semiotic construction of solitude. Processes of internalization and externalization. *Sign Systems Studies, 1, 34*(1), 9-35.

Van Boxtel, C., Van der Linden, J., & Kanselaar, G. (2000). Collaborative learning tasks and the elaboration of conceptual knowledge. *Learning & Instruction, 10,* 311–330.

Van der Henst, J.-B. (2002). La perspective pragmatique dans l'étude du raisonnement et de la rationalité. *L'Année Psychologique, 102,* 65-108.

Van der Veer, R., & Van Ijzendoorn, M. H. (1985). Vygotski's theory of the higher psychological processes*:* some criticisms. *Human Development, 28,* 1-9.

Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 10,* 133-170.

Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development, 52,* 83-94.

Vila, I. (1997). Langage égocentrique, dialogue et intersubjectivité. In C. Moro, B. Schneuwly, & M. Brossard (Eds.). *Outils et signes. Perspectives actuelles de la théorie de Vygotski* (pp. 115-134). Berne : Peter Lang.

Vosniadou, S. (2007). Conceptual change and education. *Human Development, 50,* 47-54.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24,* 535-585.

Vygotski, L. S. (1930/1978a). Internalization of Higher Psychological Functions. In M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman (Eds.), *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 79-91). Cambridge, MA : Harvard University Press.

Vygotski, L. S. (1935/1978b). Interaction between learning and development. In M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman (Eds.), *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 79-91). Cambridge, MA : Harvard University Press.

Vygotski, L. S. (1929/1981). The genesis of higher mental functions. In J. V. Wersch (Ed.), *The concept of activity in soviet psychology* (pp. 144-188). Armonk : M. E. Sharpe.

Vygotski, L. S. (1934/1997). *Pensée, & langage.* (3e édition) (trad. F. Séve). Paris : La Dispute.

Vygotski, L. S., & Luria, A. (1930/1978). Tool and Symbol in Child Development. In M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman (Eds.), *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 79-30). Cambridge, MA : Harvard University Press.

Wallon, H. (1945). *Les origines de la pensée chez l'enfant.* Paris: PUF.

Wason, P. C. (1964). The effect of self-contradiction on fallacious reasoning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 16,* 30-34.

Wason, P. C. (1966). Reasoning. In B. M. Foss (Ed.), *New Horizons in Psychology* (pp. 135-151). Harmondsworth : Penguin.

Wegerif, R. B. (2011). From Dialectic to Dialogic: A response to Wertsch and Kazak. In T.Koschmann (ed.), *Theories of Learning and Studies of Instructional Practice (Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies)* (pp. 201-222). Mahwah, NJ : Springer.

Weil-Barais, A. (Ed.) (1993). *L'homme cognitif*. Paris : PUF.

Weil-Barais, A., & Bouda, N. (2004). Contexte social et interactionnel d'activités expérimentales à l'école primaire. *ASTER, Interactions langagières 2, 38,* 211-236.

Wellman, H. M., & Gelman, S. A (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In D. Kuhn, & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology Vol. 2: Cognition, perception, and language* (pp. 523-573). New York, NY: Wiley.

Wertsch, J. V. (1985). La médiation sémiotique de la vie mentale. In J.-P. Bronckart, & B. Schneuwly (Eds.), *Vygotski aujourd'hui* (pp. 139-168). Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Wertsch, J. V. (1991). *Voices of the Mind. A Sociocultural Approach to Mediated Action*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Wilkening, F., & Huber, S. (2004). Children's intuitive physics. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 349–370). Malden, MA : Blackwell.

Winer, G. A., Craig, R. K., & Weinbaum, E. (1992). Adults' Failure on Misleading Weight-Conservation Tests: A Developmental Analysis. *Developmental Psychology, 28*(1), 109-121.

Wood, D. J., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of child psychology and psychiatry, 17,* 89-100.

Zittoun, T., & Perret-Clermont, A.-N. (2009). Four social psychological lenses for psychology of learning and development. *European Journal of Psychology of Education, 24*(3), 387-403.

ANNEXES

Annexe A – Caractéristiques de participants

N°sujet	Age (an;mois)	Sexe (F = fille ; M = garçon)	Groupe expérimental	Ecole	N°du partenaire	Coeff. de différence dyadique en pré-test (CD)
101	10;3	F	DDD	Ecole 1	102	0,86
102	9;11	F	DDD	Ecole 1	101	0,86
103	11;1	F	DDD	Ecole 1	104	0,82
104	11;4	F	DDD	Ecole 1	103	0,82
105	10;8	M	DDD	Ecole 1	106	0,69
106	10;9	M	DDD	Ecole 1	105	0,69
201	11;2	F	DDD	Ecole 2	202	0,71
202	11;3	F	DDD	Ecole 2	201	0,71
203	10;10	M	DDD	Ecole 2	204	0,75
204	11;0	M	DDD	Ecole 2	203	0,75
301	10;7	F	DDD	Ecole 3	302	0,96
302	11;0	F	DDD	Ecole 3	301	0,96
303	10;5	M	DDD	Ecole 3	304	0,75
304	11;2	M	DDD	Ecole 3	303	0,75
401	10;5	F	DDD	Ecole 4	402	0,67
402	10;8	F	DDD	Ecole 4	401	0,67
403	10;6	M	DDD	Ecole 4	404	0,82
404	11;0	M	DDD	Ecole 4	403	0,82
501	10;8	F	DDD	Ecole 5	502	0,76
502	10;10	F	DDD	Ecole 5	501	0,76
503	10;10	F	DDD	Ecole 5	504	0,84
504	11;0	F	DDD	Ecole 5	503	0,84
601	10;6	M	DDD	Ecole 6	602	0,76
602	11;3	M	DDD	Ecole 6	601	0,76
701	10;9	M	DDD	Ecole 7	702	0,86
702	10;6	M	DDD	Ecole 7	701	0,86
703	10;11	F	DDD	Ecole 7	704	0,86
704	10;11	F	DDD	Ecole 7	703	0,86
107	11;0	F	DID	Ecole 1	108	1
108	11;0	F	DID	Ecole 1	107	1
109	10;3	M	DID	Ecole 1	110	0,81
110	10;5	M	DID	Ecole 1	109	0,81
111	10;10	M	DID	Ecole 1	112	0,86
112	10;10	M	DID	Ecole 1	111	0,86

205	10;7	F	DID	Ecole 2	206	0,73
206	10;5	F	DID	Ecole 2	205	0,73
207	11;2	M	DID	Ecole 2	208	0,53
208	10;5	M	DID	Ecole 2	207	0,53
307	10;10	F	DID	Ecole 3	308	0,61
308	10;6	F	DID	Ecole 3	307	0,61
405	11;1	F	DID	Ecole 4	406	0,75
406	10;10	F	DID	Ecole 4	405	0,75
407	11;1	F	DID	Ecole 4	408	0,84
408	11;2	F	DID	Ecole 4	407	0,84
505	10;11	F	DID	Ecole 5	506	0,83
506	11;2	F	DID	Ecole 5	505	0,83
507	10;7	F	DID	Ecole 5	508	0,91
507	10;11	F	DID	Ecole 5	508	0,91
603	10;6	M	DID	Ecole 6	604	0,96
604	10;11	M	DID	Ecole 6	603	0,96
705	11;4	M	DID	Ecole 7	706	0,8
706	10;5	M	DID	Ecole 7	705	0,8
707	11;9	F	DID	Ecole 7	708	0,81
708	10;6	F	DID	Ecole 7	707	0,81
113	10;10	F	IDI	Ecole 1	114	0,91
114	11;1	F	IDI	Ecole 1	113	0,91
115	10;10	F	IDI	Ecole 1	116	0,94
116	10;8	F	IDI	Ecole 1	115	0,94
117	10;7	M	IDI	Ecole 1	118	0,75
118	10;8	M	IDI	Ecole 1	117	0,75
209	10;9	F	IDI	Ecole 2	210	0,76
210	10;4	F	IDI	Ecole 2	209	0,76
211	11;0	M	IDI	Ecole 2	212	0,7
212	10;8	M	IDI	Ecole 2	211	0,7
311	11;1	M	IDI	Ecole 3	312	0,7
312	10;9	M	IDI	Ecole 3	311	0,7
313	11;1	F	IDI	Ecole 3	314	0,53
314	11;1	F	IDI	Ecole 3	313	0,53
315	11;3	F	IDI	Ecole 3	316	0,83
316	11;2	F	IDI	Ecole 3	315	0,83
409	11;2	F	IDI	Ecole 4	410	0,73
410	11;1	F	IDI	Ecole 4	409	0,73
509	10;8	M	IDI	Ecole 5	510	0,8
510	11;1	M	IDI	Ecole 5	509	0,8
511	10;5	F	IDI	Ecole 5	512	0,96
512	10;10	F	IDI	Ecole 5	511	0,96
605	11;0	F	IDI	Ecole 6	606	0,73
606	10;11	F	IDI	Ecole 6	605	0,73
607	11;3	M	IDI	Ecole 6	608	0,76
608	11;3	M	IDI	Ecole 6	607	0,76
119	10;8	M	III	Ecole 1	120	1
120	10;11	M	III	Ecole 1	119	1
121	11;1	F	III	Ecole 1	122	0,84

122	10;7	F	III	Ecole 1	121	0,84
213	11;4	F	III	Ecole 2	214	0,54
214	10;6	F	III	Ecole 2	213	0,54
215	10;6	M	III	Ecole 2	216	0,73
216	10;7	M	III	Ecole 2	215	0,73
317	11;4	M	III	Ecole 3	318	0,85
318	10;4	M	III	Ecole 3	317	0,85
319	10;11	F	III	Ecole 3	320	0,7
320	10;8	F	III	Ecole 3	319	0,7
321	10;8	M	III	Ecole 3	322	0,72
322	10;8	M	III	Ecole 3	321	0,72
411	10;6	F	III	Ecole 4	412	0,87
412	10;9	F	III	Ecole 4	411	0,87
513	10;7	F	III	Ecole 5	514	0,85
514	10;10	F	III	Ecole 5	513	0,85
515	10;5	F	III	Ecole 5	516	0,84
516	10;6	F	III	Ecole 5	515	0,84
609	11;1	F	III	Ecole 6	610	0,64
610	11y	F	III	Ecole 6	609	0,64
611	10y11	M	III	Ecole 6	612	0,77
612	11y2	M	III	Ecole 6	611	0,77
713	10y10	F	III	Ecole 7	714	0,81
714	9y9	F	III	Ecole 7	713	0,81

Annexe B – Liste des objets concrets

Numéro et nom de l'objet	Matériau - Réaction (Flotte/Coule)	Masse (en g) - Volume (cm3)	Proportion de prédictions justes en pré-test - en général	Score CL moyen en pré-test – en général
(1) Bougie	Autre - F	55,0 - 70	- 44%	- 2,33
(4) Boîte en métal vide	Métal - F	50,0 - 346	- 67%	- 2,31
(5) Boîte en bois	Bois - F	65,0 - 158	61% - 61%	2,48 - 2,95
(6) Bouteille vide	Plastique - F	14,0 - 550	95% - 97%	3,47 - 1,75
(8) Bouteille à moitié remplie	Plastique - F	240,0 - 550	58% - 74%	3,67 - 3,05
(10) Coupelle	Minéral - F	85,0 - 40	100% - 88%	3,75 - 2,48
(11) Bouchon en plastique	Plastique - F	1,2 - 1,4	79% - 68%	3,00 - 2,55
(14) Eponge	Autre - F	5,0 - 90	59% - 69%	3,55 - 2,41
(15) Stylo	Plastique - F	3,0 - 8,5	92% - 69%	3,50 - 2,35
(17) Pomme	Autre - F	200,0 - 270	22% - 33%	2,78 - 2,67
(18) Domino	Bois - F	2,2 - 4,6	86% - 80%	3,02 - 2,93
(25) Crayon	Bois - F	4,5 - 6	71% - 74%	2,89 - 2,86
(26) Morceau de bois	Bois - F	2,5 - 2,7	96% - 92%	3,07 - 2,57
(27) Cylindre en bois	Bois - F	26,0 - 45	- 52%	- 2,75
Moyenne des objets qui flottent		**50,60 - 152,9**	**74% - 69%**	**3,20 - 2,57**
(2) Trombone en plastique	Plastique - C	0,3 - 0,1	47% - 37%	2,56 - 2,08
(3) Trombone en métal	Métal - C	0,6 - 0,1	- 79%	- 2,06
(7) Bouteille pleine	Plastique - C	555,0 - 550	85% - 67%	3,69 - 3,25
(9) Cuillère	Métal - C	44,0 - 5	89% - 97%	3,22 - 2,97
(12) Bille en verre	Minéral - C	15,0 - 4	94% - 95%	3,00 - 2,83
(13) Bille en terre	Minéral - C	4,5 - 1,7	75% - 77%	2,75 - 3,26
(16) Dé	Plastique - C	2,5 - 2	75% - 70%	3,05 - 2,74
(19) Elastique	Autre - C	0,8 - 0,7	25% - 36%	2,06 - 2,53
(20) Gomme	Autre - C	20,0 - 16	- 53%	-1,06
(21) Figurine (fève)	Minéral - C	4,0 - 1,5	64% - 74%	3,21 - 3,36
(22) Flacon	Minéral - C	40,0 - 38	79% - 69%	3,50 - 1,76
(23) Pièce	Métal - C	2,5 - 0,4	89% - 91%	3,21 - 3,04
(24) Pile	Métal - C	24,0 - 7,4	92% - 93%	3,10 - 3,18
Moyenne des objets qui coulent		**58,30 - 48,4**	**74% - 72%**	**3,03 - 2,62**

Annexe C – Liste des objets évoqués

Numéro et nom de l'objet	Score CL moyen en pré-test
(1) Les enfants se sont fait gronder. Ils avaient jeté une *bouteille* à la mer.	3,25
(2) Nicolas et Valérie jouent avec un ballon de plage au bord de la mer. Le *ballon* tombe dans l'eau.	3,67
(3) Ce matin je lave le chien. Le *savon* tombe dans la bassine.	2,12
(4) Une *péniche* chargée de sable s'éloigne du bord du canal.	1,69
(5) Le navire s'est approché du port. L'*ancre* est descendue lentement vers l'eau.	3,14
(6) Un groupe de pingouins est sorti de l'eau et monte sur un petit *iceberg*.	2,00
(7) Il est arrivé un incident au port. En chargeant le bateau un *piano* est tombé à l'eau.	3,00
(8) Une *voiture* vide a été poussée dans le lac. On l'a retrouvée ce matin.	3,00
(9) Les inondations ont tout emporté. On cherche encore un *coffre*.	3,17
(10) Nicolas est allé à la rivière. Il a trouvé une *bouteille de plongée* oubliée.	2,50
(11) A midi Sarah a fait une purée. elle a commencé par mettre des *pommes de terre* dans l'eau	2,37
(12) Les enfants jouaient au bord du lac. La *balle* en caoutchouc a rebondi et est tombée dans l'eau	3,00
(13) Pendant ce temps, Léo jouait à la pétanque. Il a lancé une *boule* dans la fontaine.	3,45
(14) En allant à l'école, les enfants sont passés dans le pré. Léo a lancé un petit *caillou* dans une marre.	3,05
(15) Le vent soufflait. Il a emporté le *cahier* de Sarah dans la piscine.	2,62
(16) Ils sont passés près d'une fontaine. Léo a jeté une *pièce* dans l'eau.	3,25
(17) Il fait trop chaud pour Sarah. Elle met un *glaçon* dans son verre d'eau.	2,44
(18) En partant ce matin, Maeva a tombé sa *clé* dans la piscine.	2,86
(19) La tempête a fait des ravages. L'*arbre* est tombé dans le fleuve.	2,61
(20) Les passagers ont secoué leurs mouchoirs. Le *paquebot* a commencé à s'écarter du port.	1,82
Moyenne	**2,75**

Annexe D – Ordre des objets utilisés par école

Pré-test

Ecoles	N0 des objets concrets						N° des objets évoqués					
Ordre	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Ecole 1	14	16	24	22	2	6	11	13	17	15	20	6
Ecole 2	18	6	23	24	10	5	17	5	1	12	6	7
Ecole 3	25	17	12	5	9	26	18	7	8	12	19	6
Ecole 4	24	22	23	15	11	14	5	9	2	17	15	14
Ecole 5	7	21	11	19	13	18	10	6	18	4	3	2
Ecole 6	18	5	16	21	8	13	1	16	20	6	2	18
Ecole 7	14	7	16	26	2	25	8	4	11	10	14	18

Post-test immédiat

Ecoles	N0 des objets concrets						N° des objets évoqués					
Ordre	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Ecole 1	18	13	19	11	21	7	2	3	4	18	6	10
Ecole 2	14	7	16	26	2	25	8	4	11	10	14	18
Ecole 3	24	22	23	15	11	14	5	9	2	17	15	14
Ecole 4	25	9	5	12	17	26	6	19	12	8	7	18
Ecole 5	14	8	24	27	23	9	11	13	17	14	15	16
Ecole 6	20	7	2	4	6	12	5	15	11	1	17	9
Ecole 7	18	6	23	24	10	5	17	5	1	12	6	7

Post-test différé

Ecoles	N0 des objets concrets						N° des objets évoqués					
Ordre	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Ecole 1	8	19	20	23	25	11	5	12	19	3	4	7
Ecole 2	27	26	16	3	11	9	8	19	11	2	20	3
Ecole 3	6	23	1	24	13	27	11	1	5	13	20	2
Ecole 4	6	21	26	13	2	17	20	1	10	11	18	7
Ecole 5	9	26	22	24	25	10	14	9	1	17	19	12
Ecole 6	26	15	3	7	22	6	3	7	17	12	8	9
Ecole 7	19	3	5	11	27	24	13	9	19	2	5	12

Annexe E – Livrets de réponse de pré-test et post-tests

Livret de réponses

Nom, prénom : _____

Date de naissance : _____

Classe : _____

Ecole : _____

Date : _____

Objet 1

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 2

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 3

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 4

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 5

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 6

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

□ Il coule □ Il flotte □ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 7

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 8

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 9

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 10

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 11

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Objet 12

Objet : ……..……..

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : ……..……..……..

……..……..……..……

……..……..……..

Brouillon

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	o	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	o	o	o

Annexe F – Feuilles de réponse de l'entraînement

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom_____

Objet :_____

1 – Avant observation :

Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

2 – Après observation :

En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

Objet :_____

1 – Avant observation :

Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

2 – Après observation :

En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

Objet :_____

1 – Avant observation :

Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

2 – Après observation :

En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?

- ☐ Il flotte
- ☐ Il coule

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. ».

Annexe G – Données des prédictions de pré- et post-test et de l'entraînement (scores PR)

N° sujet	Groupe	Score PR de pré- à post-test (/6)			Score PR de test1 à test3 (/3)		
		Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé	Test1	Test2	Test3
101	DDD	6	4	4	3	2	3
102	DDD	5	5	5	3	2	3
103	DDD	6	5	5	2	1	2
104	DDD	6	5	5	2	1	2
105	DDD	6	6	6	1	2	2
106	DDD	4	6	5	1	2	2
201	DDD	5	5	4	2	2	2
202	DDD	5	3	6	2	2	2
203	DDD	5	4	3	2	3	0
204	DDD	6	4	6	2	3	0
301	DDD	5	6	2	2	3	2
302	DDD	3	6	3	2	3	2
303	DDD	3	3	5	1	2	3
304	DDD	3	5	3	1	2	3
401	DDD	6	4	5	2	2	2
402	DDD	5	5	3	2	2	2
403	DDD	6	5	4	3	3	3
404	DDD	6	3	5	3	3	3
501	DDD	5	6	4	3	2	1
502	DDD	5	5	4	3	2	1
503	DDD	4	4	5	3	3	3
504	DDD	4	3	4	3	3	3
601	DDD	4	4	4	2	2	2
602	DDD	1	3	4	2	2	2
701	DDD	5	5	4	3	2	2
702	DDD	4	6	6	3	2	2
703	DDD	5	5	3	2	2	1
704	DDD	6	3	5	2	2	1
107	DID	4	3	5	3	3	3
108	DID	5	3	6	3	2	3
109	DID	6	5	5	3	3	3
110	DID	5	4	5	3	1	3
111	DID	4	5	5	3	2	2
112	DID	5	5	5	3	2	2
205	DID	3	5	5	3	1	1

206	DID	3	6	5	3	2	1
207	DID	4	5	5	2	3	2
208	DID	5	5	6	2	3	2
307	DID	5	3	4	0	1	2
308	DID	5	4	4	0	2	2
405	DID	5	5	4	1	2	3
406	DID	4	4	3	1	1	3
407	DID	2	5	5	3	1	2
408	DID	6	2	4	3	2	2
505	DID	4	4	6	2	2	1
506	DID	4	3	5	2	2	1
507	DID	6	4	5	2	2	3
507	DID	4	5	4	2	2	3
603	DID	3	5	3	2	3	3
604	DID	5	5	3	2	1	3
705	DID	6	4	4	2	2	2
706	DID	5	5	5	2	2	2
707	DID	6	5	5	3	2	2
708	DID	6	5	5	3	2	2
113	IDI	6	6	6	2	3	2
114	IDI	4	6	5	2	3	3
115	IDI	5	5	4	3	3	3
116	IDI	5	3	6	2	3	2
117	IDI	5	4	3	3	3	3
118	IDI	6	4	6	2	3	2
209	IDI	5	6	2	3	3	2
210	IDI	3	6	3	2	3	3
211	IDI	3	3	5	1	3	3
212	IDI	3	5	3	0	3	2
311	IDI	6	4	5	2	2	2
312	IDI	5	5	3	1	2	3
313	IDI	6	5	4	1	2	1
314	IDI	6	3	5	1	2	1
315	IDI	5	6	4	2	3	0
316	IDI	5	5	4	1	3	2
409	IDI	4	4	5	1	2	2
410	IDI	4	3	4	1	2	2
509	IDI	4	4	4	3	3	3
510	IDI	1	3	4	1	3	3
511	IDI	5	5	4	2	3	3
512	IDI	4	6	6	3	3	1
605	IDI	5	5	3	3	2	2
606	IDI	6	3	5	3	2	3
607	IDI	4	3	5	1	1	3
608	IDI	5	3	6	1	1	2
119	III	6	5	5	3	1	3
120	III	5	4	5	2	1	3
121	III	4	5	5	2	1	2
122	III	5	5	5	2	2	3
213	III	3	5	5	2	1	1

214	III	3	6	5	2	2	2
215	III	4	5	5	1	3	2
216	III	5	5	6	1	2	2
317	III	5	3	4	1	3	2
318	III	5	4	4	2	2	1
319	III	5	5	4	2	3	2
320	III	4	4	3	2	2	0
321	III	2	5	5	2	1	2
322	III	6	2	4	1	1	0
411	III	4	4	6	2	1	3
412	III	4	3	5	2	2	1
513	III	6	4	5	1	2	1
514	III	4	5	4	2	2	2
515	III	3	5	3	1	2	2
516	III	5	5	3	3	2	1
609	III	6	4	4	2	3	2
610	III	5	5	5	2	2	3
611	III	6	5	5	2	2	3
612	III	6	5	5	2	2	3
713	III	6	6	6	1	2	1
714	III	4	6	5	3	2	3

Annexe H – Données des justifications en pré- et post-test (scores FT, CL et Niveau)

N° sujet	Groupe	Score FT			Score CL			Niveau modal		
		Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé
101	DDD	12	11	16	27	32	34	IIIA	IIB+	IIIA
102	DDD	13	12	16	40	37	40	IIB+	IIIA	IIIB
103	DDD	6	13	15	15	28	34	0	IIIA	IIB
104	DDD	20	10	12	39	31	32	IIB+	IIB	IIB+
105	DDD	9	12	14	20	39	38	0	IIIA	IIIA
106	DDD	10	13	17	25	31	41	IIB+	IIB	IIB+
201	DDD	13	12	16	27	32	38	IIB	IIB	IIB
202	DDD	15	14	18	40	34	43	IIB	IIB	IIB+
203	DDD	16	11	11	38	33	31	IIB+	IIB	IIB
204	DDD	15	19	24	40	46	47	IIIA	IIIA	IIIA
301	DDD	13	17	17	35	39	43	IIB	IIIA	IIB+
302	DDD	16	21	18	40	46	39	IIB+	IIIA	IIB+
303	DDD	17	14	12	37	39	37	IIB	IIB+	IIB+
304	DDD	13	13	15	34	31	37	IIB	IIB+	IIB+
401	DDD	19	20	24	45	41	43	IIIA	IIB+	IIB+
402	DDD	21	20	20	43	41	42	IIB+	IIIA	IIB+
403	DDD	20	19	18	43	45	41	IIIA	IIIA	IIIA
404	DDD	13	10	12	38	30	31	IIB	IIB	IIB
501	DDD	12	11	9	34	34	27	IIB	IIB	IIB
502	DDD	10	15	17	29	37	39	IIB	IIB+	IIB+
503	DDD	15	15	15	34	37	35	IIB+	IIB+	IIB+
504	DDD	9	7	10	27	22	28	IIB	I	IIB
601	DDD	11	18	12	28	39	33	IIB	IIB+	IIB
602	DDD	17	19	19	42	41	44	IIB+	IIB+	IIB+
701	DDD	11	9	14	34	31	34	IIB	IIB+	IIB+
702	DDD	13	10	14	38	31	48	IIB	IIB	IIIA
703	DDD	13	15	22	34	40	41	IIB+	IIB	IIB+
704	DDD	12	21	17	38	46	40	IIB+	IIIA	IIIA
107	DID	14	6	9	42	17	24	IIIB	0+	IIB
108	DID	13	3	6	40	11	17	IIB+	0	0
109	DID	16	10	11	36	33	30	IIB+	IIIA+	IIB+
110	DID	11	7	6	28	22	18	IIB	0	0
111	DID	11	10	12	23	26	35	IIB	IIIA	IIB+
112	DID	21	13	13	45	36	41	IIIA	IIB+	IIB+
205	DID	15	13	10	40	39	31	IIB	IIB	IIB
206	DID	17	15	16	38	38	36	IIB+	IIB+	IIB+
207	DID	13	10	12	34	30	35	IIB	IIB	IIB

208	DID	13	12	14	37	33	36	IIB	IIB	IIB
307	DID	9	10	9	28	29	28	IIB	IIB+	IIB
308	DID	17	10	17	40	29	42	IIB	IIB	IIB+
405	DID	18	16	12	39	32	26	IIB	IIB	IIB
406	DID	15	18	17	38	41	37	IIB+	IIB+	IIB+
407	DID	13	7	9	32	24	26	IIB	I	IIB
408	DID	16	19	21	37	37	35	IIIA	IIB	IIB
505	DID	12	6	8	24	19	25	IIB	IIB	IIB
506	DID	24	15	16	43	38	38	IIB+	IIB+	IIB
507	DID	16	16	19	35	39	40	IIB+	IIB+	IIB+
507	DID	12	11	10	22	27	35	I+	IIIA	IIIA
603	DID	13	13	11	41	38	33	IIB+	IIB+	IIB
604	DID	12	6	3	32	21	18	IIB	IIB	I
705	DID	12	7	12	30	22	38	IIB+	IIB	IIB
706	DID	24	21	15	46	42	38	IIIA	IIB+	IIB
707	DID	13	14	19	35	36	42	IIB	IIB+	IIB+
708	DID	11	11	12	33	32	37	IIB	IIB	IIB+
113	IDI	10	7	15	41	30	41	IIIB	IIIB	IIIB
114	IDI	15	15	17	48	46	48	IIIA	IIIA	IIIA
115	IDI	8	7	10	28	24	28	IIB+	IIB	IIB+
116	IDI	11	11	13	27	21	35	IIB+	0	IIB
117	IDI	10	10	11	31	25	27	IIB	IIB	IIB+
118	IDI	12	11	7	33	19	16	IIB	IIB	0
209	IDI	14	11	18	34	33	38	IIB+	IIB	IIB+
210	IDI	23	11	10	46	32	31	IIIA	IIB	IIB+
211	IDI	11	8	7	30	28	21	IIB	IIB	I
212	IDI	17	12	11	40	38	32	IIB	IIB+	IIB
311	IDI	20	21	21	40	33	34	IIB	IIB+	IIB+
312	IDI	12	10	6	36	24	15	IIB+	I	I
313	IDI	12	9	11	29	21	29	IIB	I	IIIA
314	IDI	16	16	27	40	34	39	IIB	IIB+	IIB
315	IDI	14	20	19	34	46	47	IIB+	IIIA	IIIA
316	IDI	20	12	16	42	37	42	IIB+	IIIA	IIIA
409	IDI	16	20	20	39	45	42	IIB+	IIIA	IIIA
410	IDI	16	13	14	39	38	38	IIB	IIB	IIB
509	IDI	13	11	10	29	27	31	IIB+	IIB	IIB
510	IDI	7	7	8	20	22	25	0	0	IIB
511	IDI	16	12	12	31	34	36	IIA	IIA+	IIB
512	IDI	10	14	8	29	39	26	IIB	IIB+	IIB
605	IDI	18	19	21	39	37	44	IIB+	IIB+	IIB+
606	IDI	15	14	10	38	39	35	IIB+	IIIA	IIB+
607	IDI	23	23	16	44	44	43	IIIA	IIIA	IIB+
608	IDI	12	13	13	33	39	38	IIB	IIB	IIB
119	III	11	9	14	34	24	39	IIB+	0	IIB
120	III	11	8	13	37	30	40	IIIA	IIIA	IIIA+
121	III	5	6	5	16	18	14	0	0	0
122	III	18	13	13	42	30	37	IIIA	IIB+	IIB+
213	III	20	17	21	42	41	39	IIIA	IIIA	IIB+
214	III	16	13	16	36	35	36	IIB	IIB	IIB
215	III	12	13	11	36	39	32	IIB	IIB	IIB

216	III	20	14	11	47	32	34	IIIA	IIB+	IIB
317	III	15	19	15	39	42	40	IIB	IIB+	IIB
318	III	17	10	10	37	30	30	IIB	IIB+	IIB
319	III	16	9	8	37	28	29	IIB+	IIB	I
320	III	15	9	8	30	28	25	IIB	IIB	I
321	III	13	14	17	33	30	42	IIB	IIB+	IIB+
322	III	10	9	14	31	34	36	IIB	IIB+	IIB+
411	III	20	13	16	44	37	38	IIIA	IIB	IIB+
412	III	15	18	18	41	48	45	IIIA	IIIA	IIIA
513	III	15	13	16	34	26	33	IIB	I	IIB
514	III	9	14	14	28	35	37	IIIA	IIIA	IIB+
515	III	9	12	11	23	35	32	I	IIB	IIB
516	III	14	14	14	32	34	36	IIA+	IIA+	IIB
609	III	24	22	21	52	53	54	IIIA+	IIIB	IIIB
610	III	16	13	15	41	35	35	IIB+	IIB	IIB
611	III	12	12	10	31	37	34	IIB	IIB+	IIB+
612	III	16	15	22	40	37	46	IIB+	IIB+	IIIA
713	III	8	10	9	20	29	27	IIB	IIB	IIB
714	III	11	12	15	32	33	35	IIB	IIB	IIB

Annexe I – Données des explications générales

N° sujet	Groupe	Score FT_{exp} de pré- à post-test			Score FT_{exp} durant l'entraînement			Score Niv_{exp} de pré- à post-test			Score Niv_{exp} durant l'entraînement		
		Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé	Test1	Test2	Test3	Pré-test	Post-test immédiat	Post-test différé	Test1	Test2	Test3
101	DDD	3	3	3	3	2	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
102	DDD	4	6	5	3	2	3	IIIA	IIIA	IIIB	IIIA	IIIA	IIIA
103	DDD	2	3	3	3	5	3	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
104	DDD	2	3	1	3	5	3	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
105	DDD	3	2	3	2	1	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIB
106	DDD	3	2	2	2	1	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIB
201	DDD	2	3	2	5	4	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIB	IIIA
202	DDD	3	2	1	5	4	2	IIIA	IIIB	IIB	IIIA	IIIB	IIIA
203	DDD	3	2	2	3	2	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
204	DDD	2	3	2	3	2	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
301	DDD	1	2	2	3	4	4	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
302	DDD	2	4	3	3	4	4	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
303	DDD	1	2	3	2	1	2	IIB	IIIA	IIIA	IIA	IIIA	IIIA
304	DDD	1	1	2	2	1	2	IIB	IIA	IIB	IIA	IIIA	IIIA
401	DDD	1	3	3	3	2	2	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
402	DDD	3	1	3	3	2	2	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
403	DDD	2	1	2	3	1	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
404	DDD	4	4	2	3	1	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
501	DDD	1	1	1	3	2	3	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
502	DDD	1	1	1	3	2	3	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
503	DDD	2	1	1	3	1	3	IIIA	IIB	IIB	IIIA	IIB	IIIA
504	DDD	1	2	1	3	1	3	IIB	IIIA	IIB	IIIA	IIB	IIIA
601	DDD	1	3	1	2	2	2	IIB	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIB
602	DDD	4	2	2	2	2	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
701	DDD	3	1	2	2	2	1	IIIA	IIB	IIIA	IIIB	IIIA	IIB
702	DDD	1	1	2	2	2	1	IIIB	IIB	IIIB	IIIB	IIIA	IIB
703	DDD	2	3	3	3	2	0	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	I
704	DDD	2	3	2	3	2	0	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	I
107	DID	2	5	2	4	3	2	IIB	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
108	DID	2	3	1	4	3	2	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
109	DID	2	3	2	4	5	3	IIIA	IIIB	IIIA	IIIA	IIIB	IIIA
110	DID	3	3	0	4	2	3	IIIA	IIIA	0	IIIA	IIIA	IIIA
111	DID	1	1	4	4	1	2	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
112	DID	3	3	3	4	6	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
205	DID	2	1	2	2	2	2	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
206	DID	5	3	3	2	5	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
207	DID	1	3	3	1	3	1	IIB	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIB
208	DID	1	1	1	1	3	1	IIB	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIB
307	DID	2	1	1	2	3	3	IIIA	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA

308	DID	2	2	2	2	3	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
405	DID	3	3	1	3	1	2	IIB	IIIA	IIB	IIIA	I	IIIA
406	DID	2	4	4	3	3	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
407	DID	2	1	3	1	1	1	IIIA	IIB	IIIA	IIB	IIB	IIB
408	DID	3	2	1	1	1	1	IIIA	IIB	IIB	IIB	IIB	IIB
505	DID	1	1	2	1	1	1	IIB	IIB	IIIA	IIB	IIB	IIB
506	DID	3	1	1	1	2	1	IIIA	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIB
507	DID	5	2	3	2	3	4	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
507	DID	3	0	0	2	2	4	IIIA	I	I	IIB	IIIA	IIIA
603	DID	4	3	3	4	3	4	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
604	DID	1	1	1	4	2	4	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
705	DID	1	1	2	2	1	1	IIB	IIA	IIB	IIIA	IIB	IIB
706	DID	1	2	4	2	2	1	I	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
707	DID	2	3	1	2	2	3	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIB	IIIA
708	DID	2	3	3	2	2	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
113	IDI	2	3	2	1	5	1	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIA	IIIB
114	IDI	3	3	3	3	5	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
115	IDI	1	1	2	3	2	2	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
116	IDI	1	3	3	4	2	3	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
117	IDI	2	2	4	2	1	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIB
118	IDI	2	3	3	1	1	0	IIIA	IIIA	IIB	IIB	IIB	0
209	IDI	1	3	2	2	4	2	IIB	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
210	IDI	3	2	3	4	4	3	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
211	IDI	2	2	1	3	4	2	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIB
212	IDI	1	3	4	2	4	3	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
311	IDI	5	4	6	4	3	4	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
312	IDI	3	1	3	1	3	2	IIIA	IIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
313	IDI	1	2	5	2	2	3	I	IIIA	IIIA	IIA	IIB	IIIA
314	IDI	1	2	3	3	2	3	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIB	IIIA
315	IDI	2	4	2	4	3	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
316	IDI	1	2	3	4	3	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIB	IIIA	IIIA
409	IDI	1	2	4	5	5	6	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
410	IDI	1	1	3	3	5	3	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
509	IDI	2	2	2	4	2	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
510	IDI	3	1	2	2	2	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
511	IDI	1	1	1	3	2	3	IIA	IIB	IIB	IIIB	IIIA	IIIA
512	IDI	2	1	2	2	2	2	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
605	IDI	2	2	2	3	1	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIIA
606	IDI	3	1	2	4	1	2	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIB	IIIA
607	IDI	3	3	5	3	3	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
608	IDI	1	3	2	3	3	4	IIB	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
119	III	2	7	5	3	2	1	IIIB	IIIB	IIIA	IIIB	IIIB	I
120	III	1	2	1	2	1	1	IIIA	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB
121	III	2	2	3	2	2	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
122	III	4	4	2	4	5	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
213	III	3	3	2	3	4	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
214	III	3	3	4	2	4	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
215	III	1	2	1	2	2	2	IIB	IIIA	IIB	IIIA	IIIA	IIB
216	III	2	2	2	2	1	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIIA
317	III	1	4	3	4	4	1	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA

318	III	1	0	1	4	2	3	IIB	0	IIB	IIIA	IIB	IIIA
319	III	2	2	2	4	3	2	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
320	III	3	2	3	3	4	4	IIB	IIIA	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
321	III	1	3	4	2	0	2	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	0	IIIA
322	III	1	2	1	2	3	2	IIB	IIB	IIB	IIB	IIIA	IIB
411	III	1	1	1	3	3	2	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIB
412	III	3	1	2	3	2	4	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
513	III	2	2	2	3	3	2	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
514	III	3	3	3	4	4	3	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA
515	III	2	1	1	1	1	1	IIB	IIB	IIB	IIB	IIB	IIB
516	III	2	0	2	1	2	2	IIIA	I	IIIA	IIB	IIIA	IIIA
609	III	4	3	3	3	3	3	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB
610	III	2	1	2	3	4	2	IIIA	I	IIB	IIIA	IIIA	IIIA
611	III	1	3	3	2	1	2	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	IIB	IIIA
612	III	2	2	4	3	0	1	IIIA	IIIA	IIIA	IIIA	0	IIIA
713	III	1	1	3	1	1	1	IIB	IIIA	IIIA	IIIA	I	IIB
714	III	1	1	0	2	1	2	IIB	IIB	I	IIB	IIA	IIB

Annexe J – Codage interjuge (calcul de kappa)

Nombre de justifications intercodées : 228

		Juge 1																			
		Ne sais pas	Pas de réponse	Constat	Matière	Contenu eau	Contenu air	Autre contenu	Forme	Rigidité	Fonctionnement	Masse erronée	Taille erronée	Taille	Masse	Quantité eau	Résistance	Masse objet/eau	Masse volumique	Densité	TOTAL
Juge 2	Ne sais pas	1																			1
	Pas de réponse					1		1	1												3
	Constat			6											1	1					8
	Matière				55																55
	Contenu eau					18															18
	Contenu air						22	2													24
	Autre contenu							5													5
	Forme		3			1			11		1										16
	Rigidité																				0
	Fonctionnement		1								4										5
	Masse erronée											5			1						6
	Taille erronée												3								3
	Taille																				0
	Masse														82						82
	Quantité eau																				0
	Résistance																2				2
	Masse objet/eau																				0
	Masse volumique																		2		2
	Densité																				0
	TOTAL	1	4	6	55	20	22	8	12	0	5	5	3	0	84	1	2	0	2	0	230

Calcul du kappa de Cohen :

Po (proportion d'accord observée) = 216 / 230 = 0,939

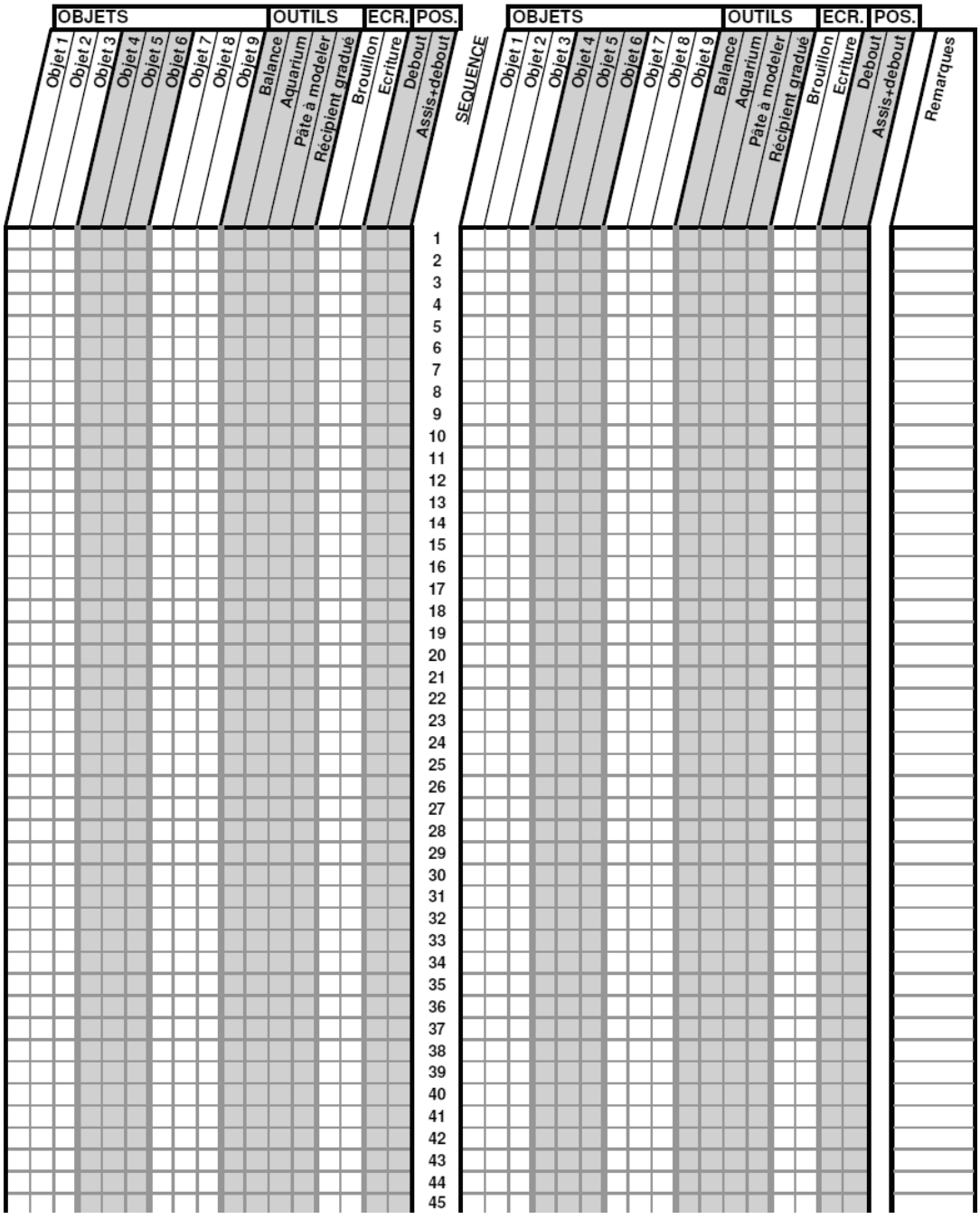
Pc (facteur de correction) = 1*1 + 4*3 + 6*8 + 55*55 + 20*18 + …) / (230*230) = 0,211

k = (Po – Pc) / (1 – Pc) = 0,923

Annexe K – Feuille de codage des étapes d'entraînement

Groupe expérimental : **Etape :** **Ecole :**

Partenaire 1 : **Partenaire 2 :**



Annexe L – Tableau des comportements observés durant l'entraînement

	N°sujet	Manipulation des objets en test1	Manipulation des objets en test2	Manipulation des objets en test3	Manipulation des outils en test1	Manipulation des outils en test2	Manipulation des objets en test3	Ecriture en test1	Ecriture en test2	Ecriture en test3	Nombre de périodes en test1	Nombre de périodes en test2	Nombre de périodes en test3
Groupe DDD													
	101	7	23	7	9	3	4	7	7	5	30	28	29
	102	7	20	14	8	1	2	5	5	4	30	28	29
	103	5	10	2	6	9	1	10	4	10	32	28	29
	104	20	20	41	23	27	28	1	6	2	32	28	29
	105	8	10	22	4	6	11	8	4	4	25	26	28
	106	7	5	10	3	7	18	6	4	4	25	26	28
	201	12	1	47	33	21	27	16	11	5	34	29	28
	202	27	3	29	25	13	24	3	11	6	34	29	28
	203	11	3	30	30	15	47	0	12	0	36	28	31
	204	26	24	24	39	54	33	7	0	11	36	28	31
	301	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	302	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	303	9	3	22	34	19	18	3	3	2	36	28	30
	304	19	17	32	35	27	21	0	0	3	36	28	30
	401	14	23	48	21	11	26	6	6	0	26	28	33
	402	28	28	26	35	19	14	6	7	10	26	28	33
	403	10	17	22	33	21	20	7	4	7	33	28	30
	404	30	31	15	49	26	19	3	0	0	33	28	30
	501	40	14	7	18	26	0	0	0	3	28	25	26
	502	5	5	7	6	3	1	12	11	12	28	25	26
	503	6	38	29	6	34	13	6	0	13	38	34	28
	504	25	32	38	22	36	25	8	6	0	38	34	28
	601	12	27	47	25	25	41	10	11	0	34	31	34
	602	26	38	15	63	55	19	0	0	13	34	31	34
	701	5	14	24	8	8	9	17	16	11	30	32	29
	702	8	28	15	17	13	19	2	0	0	30	32	29
	703	9	16	21	22	23	34	2	10	6	39	39	35
	704	11	36	23	30	34	47	12	0	5	39	39	35

Groupe DID	N°sujet	Manipulation des objets en test1	Manipulation des objets en test2	Manipulation des objets en test3	Manipulation des outils en test1	Manipulation des outils en test2	Manipulation des objets en test3	Ecriture en test1	Ecriture en test2	Ecriture en test3	Nombre de périodes en test1	Nombre de périodes en test2	Nombre de périodes en test3
	107	16	30	23	25	35	22	6	12	3	33	32	31
	108	15	20	15	27	25	11	5	16	1	33	32	31
	109	24	10	15	26	29	19	11	12	10	39	31	29
	110	30	17	36	30	37	26	0	16	0	39	31	29
	111	15	19	15	36	37	15	16	17	14	37	39	29
	112	16	17	16	22	20	13	0	23	0	37	39	29
	205	6	16	8	14	27	18	3	7	8	31	28	30
	206	3	0	13	9	4	16	16	26	14	31	28	30
	207	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	208	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	307	21	38	50	40	34	28	5	10	0	35	31	34
	308	37	35	36	54	35	25	0	8	7	35	31	34
	405	34	32	39	51	65	58	5	3	0	39	34	35
	406	40	23	13	49	73	38	0	7	3	39	34	35
	407	10	14	18	19	20	11	13	17	16	32	29	28
	408	5	18	9	17	19	11	3	25	9	32	29	28
	505	8	10	26	18	17	33	7	1	0	32	26	26
	506	6	12	4	17	9	4	0	11	4	32	26	26
	507	4	11	11	1	9	6	5	7	11	37	29	32
	508	15	8	13	6	2	8	6	22	8	37	29	32
	603	34	53	57	49	20	30	8	12	3	35	32	31
	604	22	46	24	27	44	28	8	12	10	35	32	31
	705	8	43	15	52	36	35	0	3	0	34	28	32
	706	12	6	8	26	50	38	6	5	3	34	28	32
	707	14	24	16	15	37	13	6	4	0	29	28	26
	708	4	6	2	11	37	12	4	4	9	29	28	26

	N°sujet	Manipulation des objets en test1	Manipulation des objets en test2	Manipulation des objets en test3	Manipulation des outils en test1	Manipulation des outils en test2	Manipulation des objets en test3	Ecriture en test1	Ecriture en test2	Ecriture en test3	Nombre de périodes en test1	Nombre de périodes en test2	Nombre de périodes en test3
Groupe IDI													
	113	5	21	6	9	25	5	8	14	2	30	37	29
	114	7	29	28	22	52	10	14	4	11	30	37	29
	115	18	25	38	12	45	35	16	12	12	28	39	36
	116	15	17	17	7	41	22	19	12	27	28	39	36
	117	10	23	10	38	42	17	16	5	6	38	33	27
	118	18	48	14	34	44	11	11	4	12	38	33	27
	209	12	41	48	15	42	33	6	0	8	28	39	27
	210	15	25	27	16	25	25	9	8	9	28	39	27
	211	19	22	28	8	39	22	29	12	16	37	35	34
	212	19	15	17	1	10	8	24	9	24	37	35	34
	311	8	10	16	22	12	27	15	10	14	35	30	35
	312	21	13	22	32	25	22	11	0	14	35	30	35
	313	11	24	22	19	33	10	14	0	22	29	33	35
	314	12	15	15	17	21	22	9	12	15	29	33	35
	315	15	22	27	0	12	3	18	5	16	32	35	31
	316	2	23	5	6	18	10	12	7	14	32	35	31
	409	3	5	7	11	3	7	33	9	21	39	31	33
	410	11	14	18	11	5	13	23	9	17	39	31	33
	509	21	0	11	18	25	41	15	6	7	31	24	26
	510	18	3	34	33	26	24	15	1	6	31	24	26
	511	2	12	11	6	10	9	28	14	13	35	39	25
	512	4	25	16	11	23	27	24	1	10	35	39	25
	605	1	31	9	0	13	0	17	0	12	29	30	27
	606	1	10	0	0	12	2	13	6	2	29	30	27
	607	17	18	26	26	8	31	10	11	10	33	36	33
	608	20	54	25	30	57	25	21	0	12	33	36	33

	N°sujet	Manipulation des objets en test1	Manipulation des objets en test2	Manipulation des objets en test3	Manipulation des outils en test1	Manipulation des outils en test2	Manipulation des objets en test3	Ecriture en test1	Ecriture en test2	Ecriture en test3	Nombre de périodes en test1	Nombre de périodes en test2	Nombre de périodes en test3
Groupe III													
	119	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	120	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	121	0	1	0	0	2	0	20	26	26	29	33	31
	122	3	4	0	2	3	0	17	12	16	29	33	31
	213	0	0	2	18	0	1	26	30	38	35	31	39
	214	10	18	22	44	18	24	10	12	14	35	31	39
	215	14	16	31	19	21	24	7	12	11	32	30	37
	216	4	0	8	3	0	3	13	7	19	32	30	37
	317	8	0	11	21	10	30	19	18	7	31	33	32
	318	14	15	33	18	22	27	29	15	14	31	33	32
	319	13	9	10	7	2	2	22	23	15	31	32	31
	320	13	12	14	9	4	5	22	25	24	31	32	31
	321	14	19	19	7	14	5	11	0	11	39	27	27
	322	10	8	9	9	7	8	18	17	15	39	27	27
	411	10	39	16	11	47	24	18	11	10	36	36	30
	412	13	46	24	10	32	10	16	7	20	36	36	30
	513	13	6	4	8	4	2	20	10	12	29	24	27
	514	5	1	16	18	0	16	18	19	14	29	24	27
	515	11	23	20	20	21	21	19	15	11	32	31	24
	516	12	33	33	32	27	18	19	11	8	32	31	24
	609	4	10	7	14	5	7	17	15	14	32	29	32
	610	0	0	0	0	0	0	18	14	9	32	29	32
	611	17	29	9	45	31	37	11	2	3	34	32	32
	612	26	11	4	27	32	29	14	2	4	34	32	32
	713	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	714	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Annexe M - Analyses statistiques du chapitre 6

Comparaison des justifications avec l'étude de Howe et al. (2005) (6.1.3)

T-test d'indépendance (comparaison au score CL moyen de Howe et al. (2005)

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CL_Pretest	106	16,4151	4,12396	,40055

One-Sample Test

	Test Value = 17.56					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
CL_Pretest	-2,858	105	,005	-1,14491	-1,9391	-,3507

Comparaison de l'évolution des justifications (scores TR et CL) avec l'échelle de Howe et al. (2005) (6.1.4)

ANOVA simple sur l'évolution des scores TR et CL de pré- à post-test (tous participants)

Descriptives

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
							Lower Bound	Upper Bound
TR	Pré-test		106	6,6132	3,14891	,30585	6,0068	7,2196
	Post-test immédiat		106	4,2830	2,68950	,26123	3,7651	4,8010
	Post-test différé		106	4,8302	2,97440	,28890	4,2574	5,4030
	Total		318	5,2421	3,09897	,17378	4,9002	5,5840
	Model	Fixed Effects			2,94370	,16507	4,9174	5,5669
		Random Effects				,70350	2,2152	8,2690
CL	Pré-test		106	16,4151	4,12396	,40055	15,6209	17,2093
	Post-test immédiat		106	14,3491	4,02147	,39060	13,5746	15,1235
	Post-test différé		106	15,5189	4,47901	,43504	14,6563	16,3815
	Total		318	15,4277	4,28402	,24024	14,9550	15,9003
	Model	Fixed Effects			4,21271	,23624	14,9629	15,8925
		Random Effects				,59815	12,8540	18,0013

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TR	1,440	2	315	,238
CL	,330	2	315	,719

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TR	Between Groups	314,761	2	157,381	18,162	,000
	Within Groups	2729,594	315	8,665		
	Total	3044,355	317			
CL	Between Groups	227,553	2	113,777	6,411	,002
	Within Groups	5590,283	315	17,747		
	Total	5817,836	317			

ANOVA simple sur l'évolution du score TR de pré- à post-test (groupe DDD)

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
						Lower Bound	Upper Bound
TR_Pretest	Pré-test	28	6,5714	2,36375	,44671	5,6549	7,4880
	Post1	28	4,2143	2,83310	,53541	3,1157	5,3128
	Post2	28	5,2500	2,31940	,43833	4,3506	6,1494
	Total	84	5,3452	2,66840	,29115	4,7662	5,9243
	Model	Fixed Effects			2,51617	,27454	4,7990
		Random Effects				,68211	2,4103

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TR	1,733	2	81	,183

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TR	Between Groups	78,167	2	39,083	6,173	,003
	Within Groups	512,821	81	6,331		
	Total	590,988	83			

Le rôle du niveau initial (selon l'échelle de Howe et al., 2005) : ANOVA factorielle sur le gain CL de pré- à post-test immédiat (6.2.2)

Descriptive Statistics
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

GroupeExp	Rang	Mean	Std. Deviation	N
DDD	A	-4,6000	4,03733	5
	B	-1,0000	4,17475	15
	C	-1,3333	4,50185	6
	D	1,5000	,70711	2
	Total	-1,5357	4,22060	28
DID	A	-6,1250	4,85320	8
	B	-3,0000	4,65986	8
	C	1,4286	3,64496	7
	D	-2,6667	1,15470	3
	Total	-2,7308	4,95223	26
IDI	A	-3,9091	3,44832	11
	B	-2,3333	4,41588	9
	C	-,5000	3,31662	4
	D	-1,5000	2,12132	2
	Total	-2,6538	3,75172	26
III	A	-5,0000	3,59011	10
	B	-2,7500	1,70783	4
	C	2,1429	1,86445	7
	D	2,0000	4,41588	5
	Total	-1,3846	4,49957	26
Total	A	-4,8529	3,84654	34
	B	-1,9722	4,09520	36
	C	,6250	3,51163	24
	D	,1667	3,51188	12
	Total	-2,0660	4,35621	106

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

F	df1	df2	Sig.
,766	15	90	,711

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.
a Design: Intercept+GroupeExp+Rang+GroupeExp * Rang

Tests of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	646,232(a)	15	43,082	2,880	,001	,324
Intercept	231,298	1	231,298	15,462	,000	,147
GroupeExp	36,358	3	12,119	,810	,491	,026
Rang	428,661	3	142,887	9,552	,000	,242
GroupeExp * Rang	120,169	9	13,352	,893	,535	,082
Error	1346,306	90	14,959			
Total	2445,000	106				
Corrected Total	1992,538	105				

a R Squared = ,324 (Adjusted R Squared = ,212)

Pairwise Comparisons
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

(I) Rang	(J) Rang	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
					Lower Bound	Upper Bound
A	B	-2,638	1,000	,059	-5,334	,059
	C	-5,343(*)	1,067	,000	-8,222	-2,464
	D	-4,742(*)	1,384	,006	-8,476	-1,008
B	A	2,638	1,000	,059	-,059	5,334
	C	-2,705	1,083	,086	-5,628	,217
	D	-2,104	1,397	,812	-5,872	1,664
C	A	5,343(*)	1,067	,000	2,464	8,222
	B	2,705	1,083	,086	-,217	5,628
	D	,601	1,446	1,000	-3,299	4,502
D	A	4,742(*)	1,384	,006	1,008	8,476
	B	2,104	1,397	,812	-1,664	5,872
	C	-,601	1,446	1,000	-4,502	3,299

Based on estimated marginal means
* The mean difference is significant at the ,05 level.
a Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

t-test post-hoc

Paired Samples Test(a)

Rang			Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
			Mean	Std. Deviation	Std Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
						Lower	Upper			
A	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_immediat	4,85294	3,84654	,65968	3,51082	6,19506	7,357	33	,000
B	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_immediat	1,97222	4,09520	,68253	,58661	3,35784	2,890	35	,007
C	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_immediat	-,62500	3,51163	,71681	-2,10783	,85783	-,872	23	,392
D	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_immediat	-,16667	3,51188	1,01379	-2,39801	2,06468	-,164	11	,872

a No statistics are computed for one or more split files

Rôle du niveau initial (selon l'échelle *à la* Inhelder et Piaget., 2005) (6.3.4)

ANOVA factorielle sur le score de gain CL de pré- à post-test immédiat (6.3.4)

Descriptive Statistics
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

Rang	GroupeExp	Mean	Std. Deviation	N
<IIA+	DDD	16,0000	4,24264	2
	DID	5,0000	.	1
	IDI	2,5000	,70711	2
	III	5,3333	5,77350	3
	Total	7,2500	6,54108	8
IIB	DDD	-,1667	6,19139	12
	DID	-4,0769	4,51777	13
	IDI	-3,0000	6,96020	10
	III	,3636	5,20140	11
	Total	-1,7609	5,84688	46
IIB+	DDD	1,0000	5,51765	10
	DID	-5,1250	10,43945	8
	IDI	-1,3000	6,61732	10
	III	-7,0000	3,16228	4
	Total	-2,2500	7,47469	32
>IIIA	DDD	2,2500	4,50000	4
	DID	-9,5000	10,96966	4
	IDI	-6,7500	6,80074	4
	III	-3,3750	8,24513	8
	Total	-4,1500	8,41849	20
Total	DDD	1,7500	6,75291	28
	DID	-4,8846	7,90102	26
	IDI	-2,5000	6,65883	26
	III	-1,3462	6,84072	26
	Total	-1,6792	7,35954	106

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

F	df1	df2	Sig.
1,035	15	90	,429

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.
a Design: Intercept+GroupeExp+Rang+GroupeExp * Rang

Tests of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1731,442(a)	15	115,429	2,626	,003	,304
Intercept	14,892	1	14,892	,339	,562	,004
Rang	719,461	3	239,820	5,456	,002	,154
GroupeExp	620,188	3	206,729	4,704	,004	,136
Rang * GroupeExp	391,325	9	43,481	,989	,455	,090
Error	3955,652	90	43,952			
Total	5986,000	106				
Corrected Total	5687,094	105				

a R Squared = ,324 (Adjusted R Squared = ,212)

Pairwise Comparisons
Dependent Variable: GainCL_PrePost1

(I) Rang	(J) Rang	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
<IIA+	IIB	8,928(*)	2,716	,009	1,602	16,254
	IIB+	10,315(*)	2,827	,003	2,689	17,940
	>IIIA	11,552(*)	2,969	,001	3,543	19,561
IIB	<IIA+	-8,928(*)	2,716	,009	-16,254	-1,602
	IIB+	1,386	1,595	1,000	-2,917	5,689
	>IIIA	2,624	1,835	,938	-2,328	7,575
IIB+	<IIA+	-10,315(*)	2,827	,003	-17,940	-2,689
	IIB	-1,386	1,595	1,000	-5,689	2,917
	>IIIA	1,238	1,996	1,000	-4,147	6,622
>IIIA	<IIA+	-11,552(*)	2,969	,001	-19,561	-3,543
	IIB	-2,624	1,835	,938	-7,575	2,328
	IIB+	-1,238	1,996	1,000	-6,622	4,147

Based on estimated marginal means
* The mean difference is significant at the ,05 level.
a Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

t-test post-hoc

Paired Samples Test(a)

Rang			Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
			Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
						Lower	Upper			
<II	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_ immediat	-7,2500	6,54108	2,31262	-12,7184	-1,78152	-3,135	7	,016
IIB	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_ immediat	1,76087	5,84688	,86208	,02456	3,49718	2,043	45	,047
IIB	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_ immediat	2,25000	7,47469	1,32135	-,44491	4,94491	1,703	31	,099
>III	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest_ immediat	4,15000	8,41849	1,88243	,21002	8,08998	2,205	19	,040

a No statistics are computed for one or more split files

Reprise des évolutions du score CL avec l'échelle *à la* Inhelder et Piaget (1955) (6.3.4)

ANOVA factorielle sur l'évolution CL de pré-test à post-test immédiat selon le niveau initial et le groupe expérimental

Descriptive Statistics
Dependent Variable: GainCL_PrePost2

Rang	GroupeExp	Mean	Std. Deviation	N
<IIA+	DDD	18,5000	,70711	2
	DID	13,0000	.	1
	IDI	5,0000	,00000	2
	III	3,6667	5,50757	3
	Total	8,8750	7,31803	8
IIB	DDD	3,0833	6,12682	12
	DID	-2,0000	7,88458	13
	IDI	-4,4000	6,04060	10
	III	1,0000	5,03984	11
	Total	-,4783	6,83370	46
IIB+	DDD	1,2000	6,66333	10
	DID	-4,0000	9,41124	8
	IDI	1,1000	8,97466	10
	III	-,7500	7,27438	4
	Total	-,3750	8,14288	32
>IIIA	DDD	2,5000	5,19615	4
	DID	-8,0000	7,11805	4
	IDI	-4,0000	7,34847	4
	III	-1,1250	6,95778	8
	Total	-2,3500	7,17653	20
Total	DDD	3,4286	7,20817	28
	DID	-2,9615	8,70623	26
	IDI	-1,5000	7,68505	26
	III	,3846	5,90645	26
	Total	-,0943	7,72446	106

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)
Dependent Variable: GainCL_PrePost2

F	df1	df2	Sig.
,730	15	90	,748

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.
a Design: Intercept+GroupeExp+Rang+GroupeExp * Rang

Tests of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: GainCL_PrePost2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	1825,448(a)	15	121,697	2,467	,004	,291
Intercept	148,458	1	148,458	3,010	,086	,032
Rang	840,743	3	280,248	5,681	,001	,159
GroupeExp	515,203	3	171,734	3,481	,019	,104
Rang * GroupeExp	497,830	9	55,314	1,121	,356	,101
Error	4439,608	90	49,329			
Total	6266,000	106				
Corrected Total	6265,057	105				

a R Squared = ,324 (Adjusted R Squared = ,212)

Pairwise Comparisons
Dependent Variable: GainCL_PrePost2

(I) Rang	(J) Rang	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
<IIA+	IIB	10,621(*)	2,877	,002	2,859	18,382
	IIB+	10,654(*)	2,994	,004	2,576	18,733
	>IIIA	12,698(*)	3,145	,001	4,213	21,183
IIB	<IIA+	-10,621(*)	2,877	,002	-18,382	-2,859
	IIB+	,033	1,690	1,000	-4,525	4,592
	>IIIA	2,077	1,944	1,000	-3,168	7,322
IIB+	<IIA+	-10,654(*)	2,994	,004	-18,733	-2,576
	IIB	-,033	1,690	1,000	-4,592	4,525
	>IIIA	2,044	2,114	1,000	-3,660	7,748
>IIIA	<IIA+	-12,698(*)	3,145	,001	-21,183	-4,213
	IIB	-2,077	1,944	1,000	-7,322	3,168
	IIB+	-2,044	2,114	1,000	-7,748	3,660

Based on estimated marginal means
* The mean difference is significant at the ,05 level.
a Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

t-test post-hoc

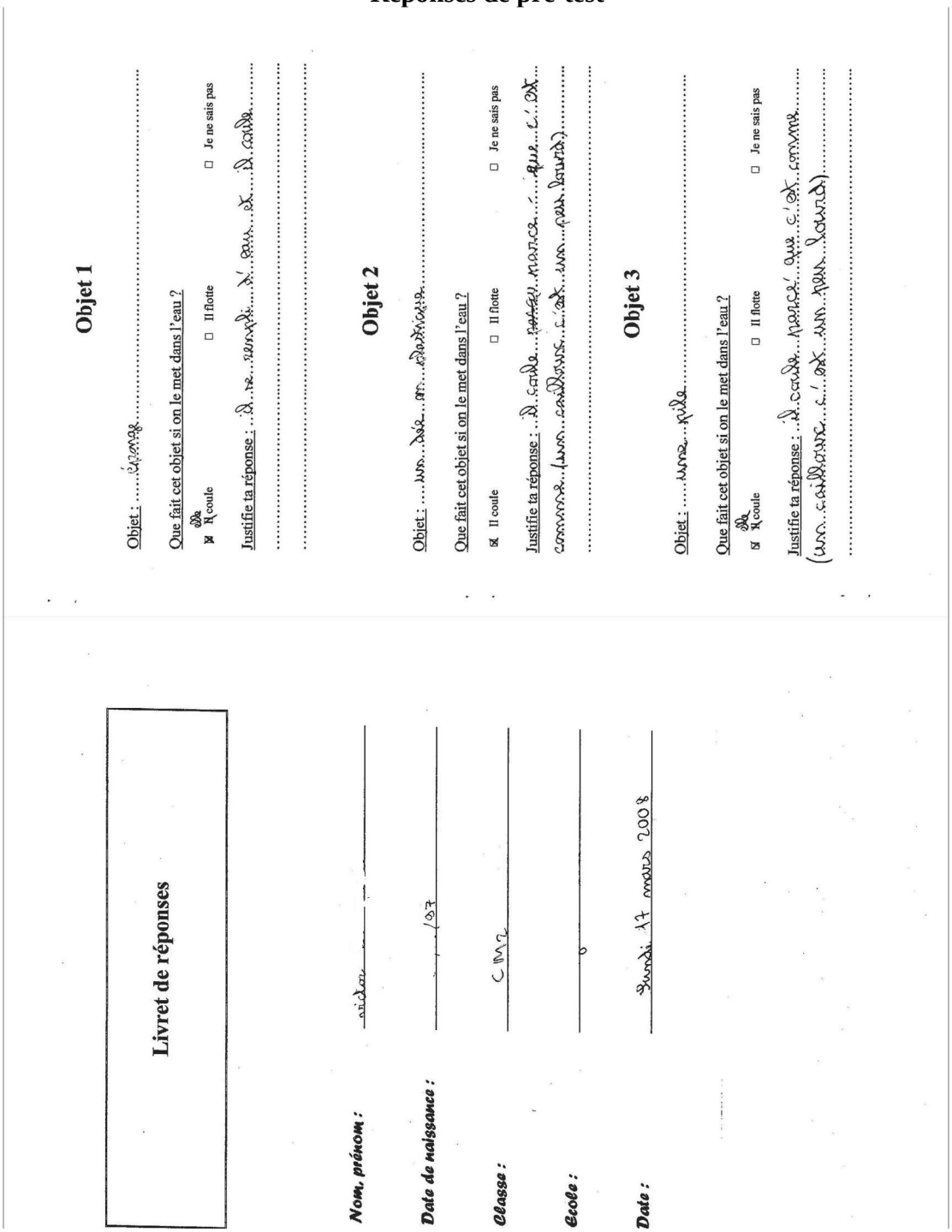
Paired Samples Test(a)

Rang			Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
			Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
						Lower	Upper			
<IIA+	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest _differe	-8,87500	7,31803	2,58731	-14,99303	-2,75697	-3,430	7	,011
IIB	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest _differe	,47826	6,83370	1,00757	-1,55110	2,50762	,475	45	,637
IIB+	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest _differe	,37500	8,14288	1,43947	-2,56082	3,31082	,261	31	,796
>IIIA	Pair 1	CL_Pretest - CL_Posttest _differe	2,35000	7,17653	1,60472	-1,00872	5,70872	1,464	19	,159

a No statistics are computed for one or more split files

Annexe N – Exemple de feuilles de réponse (Victor)

Réponses de pré-test



Livret de réponses

Nom, prénom : [illegible]

Date de naissance : [illegible]/07

Classe : CM2

Ecole : [illegible]

Date : lundi 17 mars 2008

Objet 1

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 2

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 3

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 4

Objet : bocal en verre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : parce qu'il est lourd

Objet 5

Objet : un trombone

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il flotte parce que c'est du plastique

Objet 6

Objet : une bouteille en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il flotte ~~normal~~ parce que c'est du plastique

Objet 7

Objet : une pomme de terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : elle Il coule parce que c'est comme un caillou c'est un peu lourd

Objet 8

Objet : une boule de pétanque

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est lourd ça coule

Objet 9

Objet : un dauphin

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas c'est léger

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : un cahier

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Objet 11

Objet : un marqueur

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Objet 12

Objet : un iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : parce qu'il est beige

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Parce que le objet lourd coule le objet en plastique flotte. Le objet lourd comme un caillou ou un pericade. Et les objet legé comme en plastique en plastique flotte.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	☒	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
☒	☒	o	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de l'entraînement

Victor

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Certains objets en verre ou en bois flotte (sont ne pas lourd)

Certains objets en verre il coule des objets plastic comme du bois. Les objets coulent ne tous coule.

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Victor

X

Objet : une bouteille

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

X

Objet : bois

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

X

Objet : une pomme

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : vickor dérmenk

X

Objet : une cuillère à soupe

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
X Il coule	X Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

X

Objet : une bouteje

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
X Il flotte	X Il flotte

X

Objet : un stylo vert

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
X Il flotte	X Il flotte

vickor de

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

une feuille flotte sur l'eau 2 petit coffre rempli d'eau flotte aussi les passoirs ses objet lourd coule pas tous

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : victor

X

Objet : Boule mental

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☑ Il flotte

X

Objet : une pomme

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

X

Objet : un trombone

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

VICTOR

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Le fer coule comme un trombone c'est des boules de fer pleine ce n'est pas une surfaces lisses. Une pomme ça flotte, le disk en metal flotte.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test immédiat

Livret de réponses

Nom, prénom : [illegible]

Date de naissance : _____

Classe : [illegible]

Ecole : _____

Date : 22/05/08

Objet 1

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 2

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 3

Objet : [illegible]

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible]

Objet 4

Objet : un bouchon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : on le met dans l'eau tout droit et il remonte et il flotte.

Objet 5

Objet : un savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est en porcelaine un peu lourd (comme un cailloux) ça coule.

Objet 6

Objet : une bouteille plène

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : une bouteille en plastique même avec de l'eau elle flotte

Objet 7

Objet : un ~~bouteille~~ bâton en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il est leger

Objet 8

Objet : le savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il coule car il est lourd

Objet 9

Objet : une punaise

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est un bateau

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : un bouchon en plastique avec une clé

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il est léger normal il est en plastique car elle est lourde c'est normal c'est du fer

Objet 11

Objet : un caillou

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Objet 12

Objet : une bouteille en verre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : elle coule car elle est lourde

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

les objet léger et en plastique flotte sauf les objet comme un trombone ou un élastic coule parce que un trombone c'est des bouts de fer soudé donc quand on les pose dans l'eau, l'eau passe a travers. Se objet lourd coule comme une bille qui est en terre car ce n'est pas lourd mais c'est en verre.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	☒	o	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	☒	o	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test différé

Livret de réponses

Nom, prénom : _____

Date de naissance : _____

Classe : _____

Ecole : _____

Date : _____

Objet 1

Objet : une bouteille d'eau en métal

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : parce que ces deux matières

la bouteille et l'eau ne se mélangent pas

Objet 2

Objet : un glaçon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : l'glaçon coule car il est

plus lourd que l'eau

Objet 3

Objet : une gomme

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il est lourd

Objet 4

Objet : une pièce

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est du cuivre et c'est lourd.

Objet 5

Objet : un crayon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : le crayon coule car

Objet 6

Objet : une branche en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car le branche est léger

Objet 7

Objet : ~~un bateau en plastique~~ l'ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car l'ancre c'est très lourd

Objet 8

Objet : une balle de tennis

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car la balle est remplit d'air

Objet 9

Objet : un arbre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il flotte car l'arbre est du bois

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : ..un..canon.....

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pourquoi il coule.....

.....

.....

Objet 11

Objet : ..une..perceuse.....

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est un bateau tous les bateau flotte.....

.....

Objet 12

Objet : ..Un..piano.....

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : .....

.....

.....

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Ses objets remplit d'aire flotte (une bouteille en plastique). Ses objets avec une surface lice flotte car comme une assiette. Ses autres objets lourds coulent (pas tous) ~~tous ceux qui sont pas tous~~.

Ceux ~~Tous les objets~~ en fer, cuisine, métal coule car c'est lourd.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	☒	o	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	☒	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Annexe O - Analyses statistiques du chapitre 7

Evolution des prédictions, score PR (7.1.)

Evolution des prédictions du groupe IDI de pré- à post-test : ANOVA mixte 3 x 4 (7.1.1)

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
PR_Pretest	DDD	,7738	,17102	28
	DID	,7436	,20128	26
	IDI	,6474	,23251	26
	III	,7115	,17986	26
	Total	,7201	,19993	106
PR_Post1	DDD	,7202	,20313	28
	DID	,7051	,16538	26
	IDI	,6923	,22945	26
	III	,7115	,19753	26
	Total	,7075	,19762	106
PR_Post2	DDD	,7202	,19274	28
	DID	,6923	,15415	26
	IDI	,8077	,12195	26
	III	,7308	,16382	26
	Total	,7374	,16418	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	,050	2	,025	,834	,436	,008
	Greenhouse-Geisser	,050	1,936	,026	,834	,432	,008
	Huynh-Feldt	,050	2,000	,025	,834	,436	,008
	Lower-bound	,050	1,000	,050	,834	,363	,008
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	,405	6	,067	2,255	,040	,062
	Greenhouse-Geisser	,405	5,807	,070	2,255	,042	,062
	Huynh-Feldt	,405	6,000	,067	2,255	,040	,062
	Lower-bound	,405	3,000	,135	2,255	,087	,062
Error(factor1)	Sphericity Assumed	6,103	204	,030			
	Greenhouse-Geisser	6,103	197,441	,031			
	Huynh-Feldt	6,103	204,000	,030			
	Lower-bound	6,103	102,000	,060			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe IDI (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	,355	2	,178	6,088	,004	,196
	Greenhouse-Geisser	,355	1,893	,188	6,088	,005	,196
	Huynh-Feldt	,355	2,000	,178	6,088	,004	,196
	Lower-bound	,355	1,000	,355	6,088	,021	,196
Error(factor1)	Sphericity Assumed	1,459	50	,029			
	Greenhouse-Geisser	1,459	47,336	,031			
	Huynh-Feldt	1,459	50,000	,029			
	Lower-bound	1,459	25,000	,058			

a Computed using alpha = ,05

Proportions d'enfants qui progressent, stagnent ou régressent en post-test différé dans le groupe IDI : Chi2 d'adéquation (7.1.1)

Descriptive

GroupeXP		Observed N	Expected N	Residual
DDD	Régresse	9	9,3	-,3
	Stable	12	9,3	2,7
	Progresse	7	9,3	-2,3
	Total	28		
DID	Régresse	14	8,7	5,3
	Stable	6	8,7	-2,7
	Progresse	6	8,7	-2,7
	Total	26		
IDI	Régresse	2	8,7	-6,7
	Stable	8	8,7	-,7
	Progresse	16	8,7	7,3
	Total	26		
III	Régresse	12	8,7	3,3
	Stable	4	8,7	-4,7
	Progresse	10	8,7	1,3
	Total	26		

Test Statistics

GroupeXP		Post1_Progres	Post2_Progres
DDD	Chi-Square(a,b)	3,500	1,357
	df	2	2
	Asymp. Sig.	,174	,507
DID	Chi-Square(a,b)	1,000	4,923
	df	2	2
	Asymp. Sig.	,607	,085
IDI	Chi-Square(a,b)	3,769	11,385
	df	2	2
	Asymp. Sig.	,152	,003
III	Chi-Square(a,b)	,538	4,000
	df	2	2
	Asymp. Sig.	,764	,135

a 0 cells (,0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 9,3.
b 0 cells (,0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 8,7.

Evolution du nombre de facteurs en justification, score FT (7.2.1)

Evolution du score FT de pré- à post-test selon les groupes : ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
FT_Pretest	DDD	13,7143	3,62968	28
	DID	14,6538	3,79413	26
	IDI	14,2692	4,21006	26
	III	14,1538	4,34228	26
	Total	14,1887	3,95478	106
FT_Post1	DDD	14,3214	4,00974	28
	DID	11,5000	4,48330	26
	IDI	12,9615	4,48536	26
	III	12,7308	3,59508	26
	Total	12,9057	4,22133	106
FT_Post2	DDD	15,8571	3,81725	28
	DID	12,2692	4,37774	26
	IDI	13,5000	5,24023	26
	III	13,7308	4,19102	26
	Total	13,8774	4,55590	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	98,567	2	49,283	6,699	,002	,062
	Greenhouse-Geisser	98,567	1,776	55,492	6,699	,002	,062
	Huynh-Feldt	98,567	1,859	53,032	6,699	,002	,062
	Lower-bound	98,567	1,000	98,567	6,699	,011	,062
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	164,206	6	27,368	3,720	,002	,099
	Greenhouse-Geisser	164,206	5,329	30,815	3,720	,003	,099
	Huynh-Feldt	164,206	5,576	29,449	3,720	,002	,099
	Lower-bound	164,206	3,000	54,735	3,720	,014	,099
Error(factor1)	Sphericity Assumed	1500,844	204	7,357			
	Greenhouse-Geisser	1500,844	181,175	8,284			
	Huynh-Feldt	1500,844	189,581	7,917			
	Lower-bound	1500,844	102,000	14,714			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DDD (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	68,310	2	34,155	4,607	,014	,146
	Greenhouse-Geisser	68,310	1,763	38,749	4,607	,018	,146
	Huynh-Feldt	68,310	1,877	36,400	4,607	,016	,146
	Lower-bound	68,310	1,000	68,310	4,607	,041	,146
Error(factor1)	Sphericity Assumed	400,357	54	7,414			
	Greenhouse-Geisser	400,357	47,597	8,411			
	Huynh-Feldt	400,357	50,669	7,901			
	Lower-bound	400,357	27,000	14,828			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DID (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	140,615	2	70,308	10,545	,000	,297
	Greenhouse-Geisser	140,615	1,727	81,427	10,545	,000	,297
	Huynh-Feldt	140,615	1,843	76,285	10,545	,000	,297
	Lower-bound	140,615	1,000	140,615	10,545	,003	,297
Error(factor1)	Sphericity Assumed	333,385	50	6,668			
	Greenhouse-Geisser	333,385	43,172	7,722			
	Huynh-Feldt	333,385	46,082	7,235			
	Lower-bound	333,385	25,000	13,335			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA simple pour comparer les groupes en post-test différé (post-hoc)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	181,246	3	60,415	3,084	,031
Within Groups	1998,159	102	19,590		
Total	2179,406	105			

Le nombre d'enfants qui progressent au score FT est plus important pour le groupe DDD

Test de Chi2 - Test Statistics(a,b)

	FTPrePost1_Progres	FTPrePost2_Progres
Chi-Square	4,129	9,715
Df	3	3
Asymp. Sig.	,248	,021

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: Groupe_EXP

Test du signe - Test Statistics(b)

Groupe_EXP		FT_Post2 - FT_Pretest
DDD	Z	-2,309
	Asymp. Sig. (2-tailed)	,021

a Binomial distribution used.
b Sign Test

Evolution du nombre de facteurs en justification, score CL (7.2.2)

Evolution du score CL de pré- à post-test : ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
CL_pretest	DDD	34,4286	7,27975	28
	DID	35,3077	6,52852	26
	IDI	35,3846	6,62768	26
	III	35,1923	7,99509	26
	Total	35,0660	7,04309	106
CL_Post1	DDD	36,1786	6,02497	28
	DID	30,4231	8,20816	26
	IDI	32,8846	8,23809	26
	III	33,8462	7,24261	26
	Total	33,3868	7,64145	106
CL_Post2	DDD	37,8571	5,38664	28
	DID	32,3462	7,46159	26
	IDI	33,8846	8,79239	26
	III	35,5769	7,52156	26
	Total	34,9717	7,54347	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	196,893	2	98,447	4,290	,015	,040
	Greenhouse-Geisser	196,893	1,837	107,182	4,290	,018	,040
	Huynh-Feldt	196,893	1,924	102,331	4,290	,016	,040
	Lower-bound	196,893	1,000	196,893	4,290	,041	,040
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	416,019	6	69,337	3,022	,007	,082
	Greenhouse-Geisser	416,019	5,511	75,489	3,022	,010	,082
	Huynh-Feldt	416,019	5,772	72,072	3,022	,008	,082
	Lower-bound	416,019	3,000	138,673	3,022	,033	,082
Error(factor1)	Sphericity Assumed	4681,277	204	22,947			
	Greenhouse-Geisser	4681,277	187,374	24,984			
	Huynh-Feldt	4681,277	196,256	23,853			
	Lower-bound	4681,277	102,000	45,895			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DDD (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	164,595	2	82,298	3,889	,026	,126
	Greenhouse-Geisser	164,595	1,817	90,576	3,889	,031	,126
	Huynh-Feldt	164,595	1,941	84,796	3,889	,028	,126
	Lower-bound	164,595	1,000	164,595	3,889	,059	,126
Error(factor1)	Sphericity Assumed	1142,738	54	21,162			
	Greenhouse-Geisser	1142,738	49,064	23,291			
	Huynh-Feldt	1142,738	52,409	21,804			
	Lower-bound	1142,738	27,000	42,324			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DID (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	314,846	2	157,423	5,397	,008	,178
	Greenhouse-Geisser	314,846	1,733	181,652	5,397	,011	,178
	Huynh-Feldt	314,846	1,851	170,105	5,397	,009	,178
	Lower-bound	314,846	1,000	314,846	5,397	,029	,178
Error(factor1)	Sphericity Assumed	1458,487	50	29,170			
	Greenhouse-Geisser	1458,487	43,331	33,659			
	Huynh-Feldt	1458,487	46,272	31,520			
	Lower-bound	1458,487	25,000	58,339			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA simple pour comparer les groupes en post-test différé (post-hoc)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Post1	Between Groups	458,650	3	152,883	2,749	,047
	Within Groups	5672,492	102	55,613		
	Total	6131,142	105			
Post2	Between Groups	452,602	3	150,867	2,787	,045
	Within Groups	5522,313	102	54,140		
	Total	5974,915	105			

Le nombre d'enfants qui progressent au score FT est plus important pour le groupe DDD

Test de Chi2 - Test Statistics(a,b)

	FTPrePost1_Progres	FTPrePost2_Progres
Chi-Square	4,129	9,715
df	3	3
Asymp. Sig.	,248	,021

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: Groupe_EXP

Test du signe - Test Statistics(b)

Groupe_EXP		FT_Post2 - FT_Pretest
DDD	Z	-2,309
	Asymp. Sig. (2-tailed)	,021

a Binomial distribution used.
b Sign Test

Evolution du nombre de facteurs en explication générale, score FT_{exp} (7.3.1)

Evolution du score FT_{exp} de pré- à post-test : ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
FT_pretest	DDD	2,1429	1,00791	28
	DID	2,2692	1,15092	26
	IDI	1,9231	1,01678	26
	III	1,9615	,95836	26
	Total	2,0755	1,03001	106
FT_Post1	DDD	2,3214	1,18801	28
	DID	2,1538	1,18970	26
	IDI	2,1923	,93890	26
	III	2,1923	1,44275	26
	Total	2,2170	1,18727	106
FT_Post2	DDD	2,1429	,93152	28
	DID	2,0385	1,18257	26
	IDI	2,8462	1,22286	26
	III	2,3077	1,19228	26
	Total	2,3302	1,16064	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	3,577	2	1,789	2,065	,129	,020
	Greenhouse-Geisser	3,577	1,959	1,826	2,065	,131	,020
	Huynh-Feldt	3,577	2,000	1,789	2,065	,129	,020
	Lower-bound	3,577	1,000	3,577	2,065	,154	,020
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	11,168	6	1,861	2,149	,049	,059
	Greenhouse-Geisser	11,168	5,878	1,900	2,149	,051	,059
	Huynh-Feldt	11,168	6,000	1,861	2,149	,049	,059
	Lower-bound	11,168	3,000	3,723	2,149	,099	,059
Error(factor1)	Sphericity Assumed	176,712	204	,866			
	Greenhouse-Geisser	176,712	199,857	,884			
	Huynh-Feldt	176,712	204,000	,866			
	Lower-bound	176,712	102,000	1,732			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe IDI (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	11,718	2	5,859	7,272	,002	,225
	Greenhouse-Geisser	11,718	1,984	5,907	7,272	,002	,225
	Huynh-Feldt	11,718	2,000	5,859	7,272	,002	,225
	Lower-bound	11,718	1,000	11,718	7,272	,012	,225
Error(factor1)	Sphericity Assumed	40,282	50	,806			
	Greenhouse-Geisser	40,282	49,596	,812			
	Huynh-Feldt	40,282	50,000	,806			
	Lower-bound	40,282	25,000	1,611			

a Computed using alpha = ,05

Evolution du nombre de facteurs en explication générale, score Niv_{exp} (7.3.2)

Evolution du score Niv_{exp} de pré- à post-test pour le groupe IDI : Test de Friedman

Ranks

Groupe		Mean Rank
IDI	CL_pretest	1,81
	CL_Post1	1,92
	CL_Post2	2,27

Test Statistics(a)

IDI	N	26
	Chi-Square	6,933
	df	2
	Asymp. Sig.	,031

a Friedman Test

Etude du lien entre les scores PR, FT, CL, FT_{exp}, Niv_{exp} (7.4.2)

Corrélation entre l'évolution des scores PR et FT_{exp} de pré- à poqt-test immédiat

Correlations

		PR_PrePost1_evol	CL_PrePost1_Evo	FT_PrePost1_Evol
PR_PrePost1_evol	Pearson Correlation	1	-,152	-,208(*)
	Sig. (2-tailed)		,121	,032
	N	106	106	106
CL_PrePost1_Evo	Pearson Correlation	-,152	1	,533(**)
	Sig. (2-tailed)	,121		,000
	N	106	106	106
FT_PrePost1_Evol	Pearson Correlation	-,208(*)	,533(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,032	,000	
	N	106	106	106

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Annexe P - Analyses statistiques du chapitre 8

Evolution des prédictions, score PR (8.1)

Evolution des prédictions du groupe IDI de pré- à post-test : ANOVA mixte 3 x 4 (8.1.1)

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
PR_Pretest	DDD	2,2143	,68622	28
	DID	2,2308	,90808	26
	IDI	1,8077	,89529	26
	III	1,8462	,61269	26
	Total	2,0283	,79830	106
PR_Post1	DDD	2,2143	,56811	28
	DID	1,9615	,66216	26
	IDI	2,5385	,64689	26
	III	1,8846	,65280	26
	Total	2,1509	,67319	106
PR_Post2	DDD	2,0000	,86066	28
	DID	2,2308	,71036	26
	IDI	2,2308	,81524	26
	III	1,9231	,93480	26
	Total	2,0943	,83413	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	,833	2	,416	,805	,448	,008
	Greenhouse-Geisser	,833	1,947	,428	,805	,445	,008
	Huynh-Feldt	,833	2,000	,416	,805	,448	,008
	Lower-bound	,833	1,000	,833	,805	,372	,008
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	8,392	6	1,399	2,705	,015	,074
	Greenhouse-Geisser	8,392	5,841	1,437	2,705	,016	,074
	Huynh-Feldt	8,392	6,000	1,399	2,705	,015	,074
	Lower-bound	8,392	3,000	2,797	2,705	,049	,074
Error(factor1)	Sphericity Assumed	105,476	204	,517			
	Greenhouse-Geisser	105,476	198,601	,531			
	Huynh-Feldt	105,476	204,000	,517			
	Lower-bound	105,476	102,000	1,034			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe IDI (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	7,000	2	3,500	6,646	,003	,210
	Greenhouse-Geisser	7,000	1,884	3,715	6,646	,003	,210
	Huynh-Feldt	7,000	2,000	3,500	6,646	,003	,210
	Lower-bound	7,000	1,000	7,000	6,646	,016	,210
Error(factor1)	Sphericity Assumed	26,333	50	,527			
	Greenhouse-Geisser	26,333	47,101	,559			
	Huynh-Feldt	26,333	50,000	,527			
	Lower-bound	26,333	25,000	1,053			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA simple comparant le score PR des groupes à chaque temps (post-hoc)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Test1	Between Groups	4,162	3	1,387	2,255	,086
	Within Groups	62,753	102	,615		
	Total	66,915	105			
Test2	Between Groups	6,794	3	2,265	5,663	,001
	Within Groups	40,791	102	,400		
	Total	47,585	105			
Test3	Between Groups	1,980	3	,660	,947	,421
	Within Groups	71,077	102	,697		
	Total	73,057	105			

Comparaisons a priori des scores PR en situation dyadique et individuelle (8.1.2)

Contrast Coefficients

Contrast	GoupeXP			
	1,00	2,00	3,00	4,00
1	1	1	-1	-1
2	1	-1	1	-1

Contrast Tests

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
Test1	Assume equal variances	1	,7912	,30489	2,595	102	,011
	Does not assume equal variances	1	,7912	,30627	2,583	90,645	,011
Test2	Assume equal variances	2	,9066	,24582	3,688	102	,000
	Does not assume equal variances	2	,9066	,24673	3,674	99,077	,000
Test3	Assume equal variances	1	,0769	,32449	,237	102	,813
	Does not assume equal variances	1	,0769	,32409	,237	98,232	,813

Comparaisons a priori des scores PR des groupes alternants IDI et DID par rapport aux groupes non-alternants DDD et III (8.1.3)

Contrast Coefficients

Contrast	GoupeXP			
	1,00	2,00	3,00	4,00
1	-1	1	1	-1
2	1	-1	1	-1

Contrast Tests

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
Test1	Assume equal variances	1	-,0220	,30489	-,072	102	,943
	Does not assume equal variances	1	-,0220	,30627	-,072	90,645	,943
Test2	Assume equal variances	1	,4011	,24582	1,632	102	,106
	Does not assume equal variances	1	,4011	,24673	1,626	99,077	,107
Test3	Assume equal variances	1	,5385	,32449	1,659	102	,100
	Does not assume equal variances	1	,5385	,32409	1,661	98,232	,100

Evolution du nombre de facteurs en explication générale, score FT_{exp} (8.2.1)

Evolution du score FT_{exp} durant l'entraînement : ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
FT_Test1	DDD	2,8571	,75593	28
	DID	2,4615	1,17408	26
	IDI	2,8846	1,07059	26
	III	2,6154	,94136	26
	Total	2,7075	,99491	106
FT_Test2	DDD	2,2143	1,22798	28
	DID	2,5000	1,30384	26
	IDI	2,8462	1,31734	26
	III	2,3846	1,38786	26
	Total	2,4811	1,31099	106
FT_Test3	DDD	2,0714	1,05158	28
	DID	2,2308	1,06987	26
	IDI	2,5000	1,14018	26
	III	2,0769	,89098	26
	Total	2,2170	1,04202	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	12,489	2	6,245	7,661	,001	,070
	Greenhouse-Geisser	12,489	1,884	6,629	7,661	,001	,070
	Huynh-Feldt	12,489	1,975	6,325	7,661	,001	,070
	Lower-bound	12,489	1,000	12,489	7,661	,007	,070
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	4,260	6	,710	,871	,517	,025
	Greenhouse-Geisser	4,260	5,652	,754	,871	,512	,025
	Huynh-Feldt	4,260	5,924	,719	,871	,516	,025
	Lower-bound	4,260	3,000	1,420	,871	,459	,025
Error(factor1)	Sphericity Assumed	166,293	204	,815			
	Greenhouse-Geisser	166,293	192,166	,865			
	Huynh-Feldt	166,293	201,422	,826			
	Lower-bound	166,293	102,000	1,630			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DDD (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	9,810	2	4,905	7,186	,002	,210
	Greenhouse-Geisser	9,810	1,920	5,108	7,186	,002	,210
	Huynh-Feldt	9,810	2,000	4,905	7,186	,002	,210
	Lower-bound	9,810	1,000	9,810	7,186	,012	,210
Error(factor1)	Sphericity Assumed	36,857	54	,683			
	Greenhouse-Geisser	36,857	51,849	,711			
	Huynh-Feldt	36,857	54,000	,683			
	Lower-bound	36,857	27,000	1,365			

a Computed using alpha = ,05

Evolution du niveau des facteurs en explication générale, score Niv_{exp} (8.2.4)

Evolution du score Niv_{exp} de pré- à post-test pour le groupe DDD : Test de Friedman

Ranks

Groupe		Mean Rank
DDD	Nivexp_Test1	2,18
	Nivexp_Test2	2,11
	Nivexp_Test3	1,71

Test Statistics(a)

DDD	N	28
	Chi-Square	7,840
	df	2
	Asymp. Sig.	,020

a Friedman Test

Effet du contexte sur le score Niv_{exp} : test de Wilcoxon

Ranks

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Nivexp_Test1 - Nivexp_pretest	Negative Ranks	11(a)	22,50	247,50
	Positive Ranks	35(b)	23,81	833,50
	Ties	60(c)		
	Total	106		

a CL_Test1 < CL_pretest ; b CL_Test1 > CL_pretest ; c CL_Test1 = CL_pretest

Test Statistics(b)

	Nivexp_Test1 - Nivexp_pretest
Z	-3,606(a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a Based on negative ranks ; b Wilcoxon Signed Ranks Test

Evolution des facteurs cités dans les explications durant l'entraînement (8.2.5)

Evolution du facteur forme: ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
T1_MasseCorrecte	DDD	,7143	,46004	28
	DID	,6154	,49614	26
	IDI	,8077	,40192	26
	III	,7308	,45234	26
	Total	,7170	,45261	106
T2_MasseCorrecte	DDD	,3571	,48795	28
	DID	,6154	,49614	26
	IDI	,5385	,50839	26
	III	,3846	,49614	26
	Total	,4717	,50157	106
T3_MasseCorrecte	DDD	,2857	,46004	28
	DID	,2308	,42967	26
	IDI	,5385	,50839	26
	III	,6154	,49614	26
	Total	,4151	,49508	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	1,670	2	,835	6,056	,003	,056
	Greenhouse-Geisser	1,670	1,980	,843	6,056	,003	,056
	Huynh-Feldt	1,670	2,000	,835	6,056	,003	,056
	Lower-bound	1,670	1,000	1,670	6,056	,016	,056
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	,186	6	,031	,225	,968	,007
	Greenhouse-Geisser	,186	5,941	,031	,225	,967	,007
	Huynh-Feldt	,186	6,000	,031	,225	,968	,007
	Lower-bound	,186	3,000	,062	,225	,879	,007
Error(factor1)	Sphericity Assumed	28,128	204	,138			
	Greenhouse-Geisser	28,128	201,986	,139			
	Huynh-Feldt	28,128	204,000	,138			
	Lower-bound	28,128	102,000	,276			

a Computed using alpha = ,05

Evolution du facteur forme: ANOVA mixte 3 x 4

Descriptive Statistics

	GroupeXP	Mean	Std. Deviation	N
FT_Test1	DDD	2,8571	,75593	28
	DID	2,4615	1,17408	26
	IDI	2,8846	1,07059	26
	III	2,6154	,94136	26
	Total	2,7075	,99491	106
FT_Test2	DDD	2,2143	1,22798	28
	DID	2,5000	1,30384	26
	IDI	2,8462	1,31734	26
	III	2,3846	1,38786	26
	Total	2,4811	1,31099	106
FT_Test3	DDD	2,0714	1,05158	28
	DID	2,2308	1,06987	26
	IDI	2,5000	1,14018	26
	III	2,0769	,89098	26
	Total	2,2170	1,04202	106

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	5,364	2	2,682	12,544	,000	,110
	Greenhouse-Geisser	5,364	1,983	2,705	12,544	,000	,110
	Huynh-Feldt	5,364	2,000	2,682	12,544	,000	,110
	Lower-bound	5,364	1,000	5,364	12,544	,001	,110
factor1 * GroupeXP	Sphericity Assumed	2,929	6	,488	2,284	,037	,063
	Greenhouse-Geisser	2,929	5,950	,492	2,284	,038	,063
	Huynh-Feldt	2,929	6,000	,488	2,284	,037	,063
	Lower-bound	2,929	3,000	,976	2,284	,083	,063
Error(factor1)	Sphericity Assumed	43,612	204	,214			
	Greenhouse-Geisser	43,612	202,286	,216			
	Huynh-Feldt	43,612	204,000	,214			
	Lower-bound	43,612	102,000	,428			

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DDD (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	2,952	2	1,476	8,811	,000	2,952
	Greenhouse-Geisser	2,952	1,887	1,565	8,811	,001	2,952
	Huynh-Feldt	2,952	2,000	1,476	8,811	,000	2,952
	Lower-bound	2,952	1,000	2,952	8,811	,006	2,952
Error(factor1)	Sphericity Assumed	9,048	54	,168			9,048
	Greenhouse-Geisser	9,048	50,946	,178			9,048
	Huynh-Feldt	9,048	54,000	,168			9,048
	Lower-bound	9,048	27,000	,335			9,048

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe DID (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	2,564	2	1,282	5,952	,005	2,564
	Greenhouse-Geisser	2,564	1,974	1,299	5,952	,005	2,564
	Huynh-Feldt	2,564	2,000	1,282	5,952	,005	2,564
	Lower-bound	2,564	1,000	2,564	5,952	,022	2,564
Error(factor1)	Sphericity Assumed	10,769	50	,215			10,769
	Greenhouse-Geisser	10,769	49,355	,218			10,769
	Huynh-Feldt	10,769	50,000	,215			10,769
	Lower-bound	10,769	25,000	,431			10,769

a Computed using alpha = ,05

ANOVA répétée du groupe III (post-hoc)

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
factor1	Sphericity Assumed	1,615	2	,808	3,654	,033	1,615
	Greenhouse-Geisser	1,615	1,904	,848	3,654	,035	1,615
	Huynh-Feldt	1,615	2,000	,808	3,654	,033	1,615
	Lower-bound	1,615	1,000	1,615	3,654	,067	1,615
Error(factor1)	Sphericity Assumed	11,051	50	,221			11,051
	Greenhouse-Geisser	11,051	47,610	,232			11,051
	Huynh-Feldt	11,051	50,000	,221			11,051
	Lower-bound	11,051	25,000	,442			11,051

a Computed using alpha = ,05

ANOVA simple par temps d'entraînement

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
T1_MasseCorrecte	Between Groups	,487	3	,162	,788	,503
	Within Groups	21,022	102	,206		
	Total	21,509	105			
T2_MasseCorrecte	Between Groups	1,217	3	,406	1,643	,184
	Within Groups	25,198	102	,247		
	Total	26,415	105			
T3_MasseCorrecte	Between Groups	2,791	3	,930	4,135	,008
	Within Groups	22,945	102	,225		
	Total	25,736	105			

Comparaisons a priori de la présence du facteur masse en situation dyadique et individuelle (8.2.5)

Contrast Coefficients

Contrast	GoupeXP			
	1,00	2,00	3,00	4,00
1	1	1	-1	-1
2	1	-1	1	-1

Contrast Tests

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
T1_Masse Correcte	Assume equal variances	1	-,2088	,17647	-1,183	102	,239
	Does not assume equal variances	1	-,2088	,17638	-1,184	99,536	,239
T2_Masse Correcte	Assume equal variances	2	-,1044	,19320	-,540	102	,590
	Does not assume equal variances	2	-,1044	,19334	-,540	101,235	,590
T3_Masse Correcte	Assume equal variances	1	-,6374	,18436	-3,457	102	,001
	Does not assume equal variances	1	-,6374	,18457	-3,453	99,444	,001

Comparaisons a priori de la présence du facteur masse selon que les groupes alternent ou non les situations (8.2.5)

Contrast Coefficients

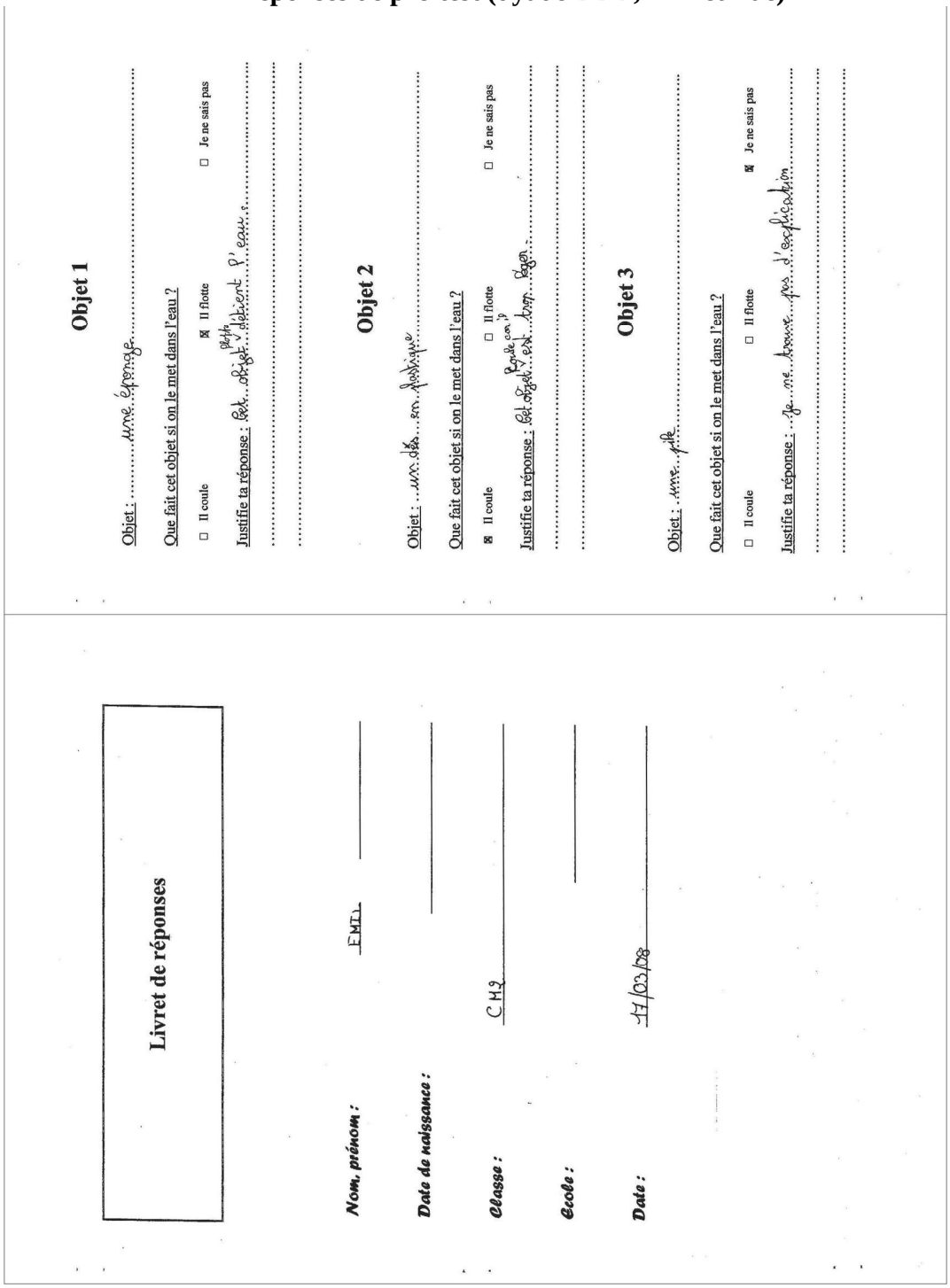
Contrast	GoupeXP			
	1,00	2,00	3,00	4,00
1	-1	1	1	-1
2	1	-1	1	-1

Contrast Tests

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
Test1	Assume equal variances	1	-,0220	,17647	-,125	102	,901
	Does not assume equal variances	1	-,0220	,17638	-,125	99,536	,901
Test2	Assume equal variances	1	,4121	,19320	2,133	102	,035
	Does not assume equal variances	1	,4121	,19334	2,131	101,235	,035
Test3	Assume equal variances	1	-,1319	,18436	-,715	102	,476
	Does not assume equal variances	1	-,1319	,18457	-,714	99,444	,477

Annexe Q - Feuilles de réponse de Emi et Lae

Réponses de pré-test (dyade DDD, Emi et Lae)



Livret de réponses

Nom, prénom : EMI

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : 14/03/08

Objet 1

Objet : une éponge

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car objet plein d'air devient p' eau

Objet 2

Objet : un os en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : cet objet est lourd

Objet 3

Objet : une pile

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne trouve pas d'explication

Objet 4

Objet : boîte en verre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : elle flotte car elle est lourde

Objet 5

Objet : trombone en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : cet objet coule car il est léger.

Objet 6

Objet : bouteille en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car cet avant.

Objet 7

Objet : une pomme de terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est lourd.

Objet 8

Objet : boule de pétanque

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est lourd et cela ne détient pas d'air.

Objet 9

Objet : un glaçon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il est léger et qu'il a de la glace

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : un cahier

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est le papier qui le fait flotter et il est léger.

Objet 11

Objet : le paquebot

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je n'est pas d'explication.

Objet 12

Objet : un iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je n'est d'explication

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains objets flottes car soit ils absorbent l'eau soit ils ont de l'air à l'intérieur. D'autres coulent car ils sont trop légers ou qu'ils n'absorbent pas l'eau ou alors encore qui non pas d'air à l'intérieur.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	•	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	•	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : Loé

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : 17/03/08

Objet 1

Objet : éponge

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte car grace aux trous cela permet à l'eau de s'introduire dans l'éponge.

Objet 2

Objet : dé en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il coule car il n'est pas vide dedans il n'est pas plein d'air.

Objet 3

Objet : pile

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il coule car le métal ne flotte pas.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : Bocal en verre fermé

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte car il est plein d'air

Objet 5

Objet : trombone en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne sais pas

Objet 6

Objet : bouteille en plastique fermé

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il flotte car il y a de l'air

Objet 7

Objet : pomme de terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ~~Je ne~~ il coule car c'est intérieur dedans la pomme de terre il y a de la nourriture

Objet 8

Objet : ~~la~~ balle de pétanque

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est lourd et c'est rempli

Objet 9

Objet : un glaçon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car un glaçon c'est de l'eau gelée

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : un cahier

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte car le bois flotte et qu'un cahier est fait à partir d'un arbre.

Objet 11

Objet : un paquebot

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte car dans la coque du paquebot il y a de l'air.

Objet 12

Objet : iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte comme le glaçon car c'est de l'eau gelée.

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains objets placés dans l'eau flottent car, si l'objet contient de l'air ou de l'eau ou l'objet flotte.

Certains objets placés dans l'eau coulent car si c'est rempli cela ne flotte pas.
ATTENTION le métal ou le fer vide coule aussi car l'air ne peut pas le faire flotter.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
⊙	o	o	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	☒	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de l'entraînement (dyade DDD, Emi et Lae)

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Emi Lae

Objet : bille

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

Objet : boîte

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [ ] Il coule
- [x] Il flotte

2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [ ] Il coule
- [x] Il flotte

Objet : coupelle

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

Emi
Lae

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Les objets qui flottent sont parmés et souvent plein d'air.

Les objets qui coulent sont parfois ouverts donc l'eau le englouti l'objet.

Certains objets coulent car il n'ont pas d'air à l'intérieur.

Feuille de réponse pour l'entraînement

(12)

Nom, prénom : Lae Emi

Objet : cuillère à soupe

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : bougie

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☐ Il coule
☐ Il flotte	☒ Il flotte

Objet : stylo Bille

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

Emi Lae

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Les objets en métal ne flottent pas car ils ne contiennent pas d'air.

Les objets en plastique comme les stylos ne coulent pas car entre la mine et le plastique qui recouvre l'objet il y a une couche d'air.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Emi Lae

Objet : boîte en métal

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

Objet : pomme

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

Objet : trombone

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Emi Lae

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Les boîtes en métal contiennent + plus d'air que de métal. Les objets comme le trombone coulent car ils ne peuvent pas détenir de l'air et de l'eau.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test immédiat (dyade DDD, Emi et Lae)

Livret de réponses

Nom, prénom : LAE

Date de naissance : _____

Classe : CM2

Ecole : _____

Date : 21/03/08

Objet 1

Objet : domino

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : M. de plastique flotte

Objet 2

Objet : boîte en bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : X

Objet 3

Objet : élastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : X

Objet 4

Objet : Bouchon en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Le plastique flotte

Objet 5

Objet : savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il n'y a pas d'air dedans

Objet 6

Objet : Bouteille d'eau pleine

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il y a de l'eau dedans

Objet 7

Objet : Ballon de la plage

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il faut souffler pour le gonfler

Objet 8

Objet : savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il n'y a pas d'air dedans

Objet 9

Objet : une gamelle remplie de sable

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car la coque contient de l'air et il y a des bouées au bas de l'eau

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : des clés

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Les clés sont formées de métal : elle et elle ne contiennent pas d'air : elles coulent.

Objet 11

Objet : iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est fait de la glace fondue

Objet 12

Objet : Bouteille de gaz remplie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : le gaz c'est comme l'air ça flotte

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains objets flottent car :
- soit il y a de l'air dedans
- soit il y a de l'eau dedans
- soit la matière flotte.

Certains objets coulent car :
- soit c'est rempli donc donc il n'y a pas d'air ou d'eau
- soit c'est vide mais c'est en métal donc et c'est lourd donc l'air ou l'eau ne peux pas faire flotter l'objet.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	▪	X	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	▪	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : EM1

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : 21/03/08

Objet 1

Objet : pièce de dominos

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Cet objet coule car il est légers et qu'il n'absorbe pas d'eau

Objet 2

Objet : Bille en terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Cet objet coule car il n'y a pas d'air à l'intérieur.

Objet 3

Objet : élastique en caoutchouc

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Cet objet flotte car il est léger

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : bouchon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je n'est pas d'explication.

Objet 5

Objet : une pièce

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est la matière qui le fait couler.

Objet 6

Objet : petite bouteille d'eau

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : cet objet flott car il y a de l'air à l'intérieur.

Objet 7

Objet : un ballon de plage

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il y a de l'air à l'intérieur.

Objet 8

Objet : le savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : cet objet coule car il est lourd et il n'y a pas d'air à l'intérieur.

Objet 9

Objet : une péniche

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : les clés

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : cet objet flotte grâce à la matière.

Objet 11

Objet : un iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Objet 12

Objet : une bouteille de gaz

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est lourd.

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains objets flottent car ils ont de l'air à l'intérieur, d'autres flottent parce qu'ils ont une matière flotante ou parce qu'il sont légers.

Certains objets coule car ils n'ont pas d'air à l'intérieur, d'autres ont une matière qui les fais couler ~~ou ils~~

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	●	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	●	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test différé (dyade DDD, Emi et Lae)

Livret de réponses

Nom, prénom : LAE

Date de naissance : _____

Classe : CM2

Ecole : _____

Date : 05/06/08

Objet 1

Objet : bouteille d'eau à moitié pleine

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne sais pas car s'il y a plus d'eau que dans cette, elle coule, mais s'il y a plus d'air que d'eau, elle flotte.

Objet 2

Objet : plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne sais pas il flotte car cet objet contient du caoutchouc, et le caoutchouc flotte.

Objet 3

Objet : gomme

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse :

Objet 4

Objet : une pièce

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

X Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est du métal dense

Objet 5

Objet : un crayon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule X Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est du bois

Objet 6

Objet : un bouchon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule X Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est du plastique

Objet 7

Objet : l'encre ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

X Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est lourd, dense, et c'est du métal

Objet 8

Objet : balle

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule X Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est en plastique et il y a de l'air dedans

Objet 9

Objet : arbre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule X Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est du bois

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : le savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

X Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car c'est dense

Objet 11

Objet : une péniche chargée de sable

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

X Il ~~coule~~ ☐ Il flotte X Je ne sais pas

Justifie ta réponse :

Objet 12

Objet : un piano

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

✓ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il c'est ~~rond~~ le bois est dense

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains coulent car :
- ils sont dense
- ils sont lourds
- ils sont plein d'eau
- ce sont du métal

D'autres flottent car :
- ils sont vide
- ils sont légers
- ce sont du caoutchouc
- ces sont de la cire

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	●	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	●	o	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : Emilie

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : 5/05/08

Objet 1

Objet : bouteille d'eau à moitié pleine

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : elle flotte car elle n'est pas complètement pleine

Objet 2

Objet : un élastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il coule car il est léger et n'a pas d'air

Objet 3

Objet : une gomme

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : la coule car c'est lourd qu'il n'y a pas d'air et puis c'est une matière qui coule

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : une pièce

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Une pièce coule car la matière du cuivre coul facilement elle il n'y a pas d'air.

Objet 5

Objet : un crayon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il coule car le bois a tendance à couler ~~en~~ puis il n'y a pas d'air

Objet 6

Objet : un bouchon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : je ne sais pas

Objet 7

Objet : l'ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Cet objet coule car il est lourd et en fer.

Objet 8

Objet : une balle

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Ceux là coule car c'est lourd

Objet 9

Objet : un arbre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il coule car il est très lourd.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : le savon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il coule car il est lourd et il ne contient pas d'air

Objet 11

Objet : une peinture orange

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [illegible] Je ne sais pas

Objet 12

Objet : un piano

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne sais pas

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Certains objets flottent car ils ont de l'air et une matière qui à tendance à flotter.

D'autres objets coulent car ils sont léger ou lourd et n'ont pas d'air.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	•	o	o

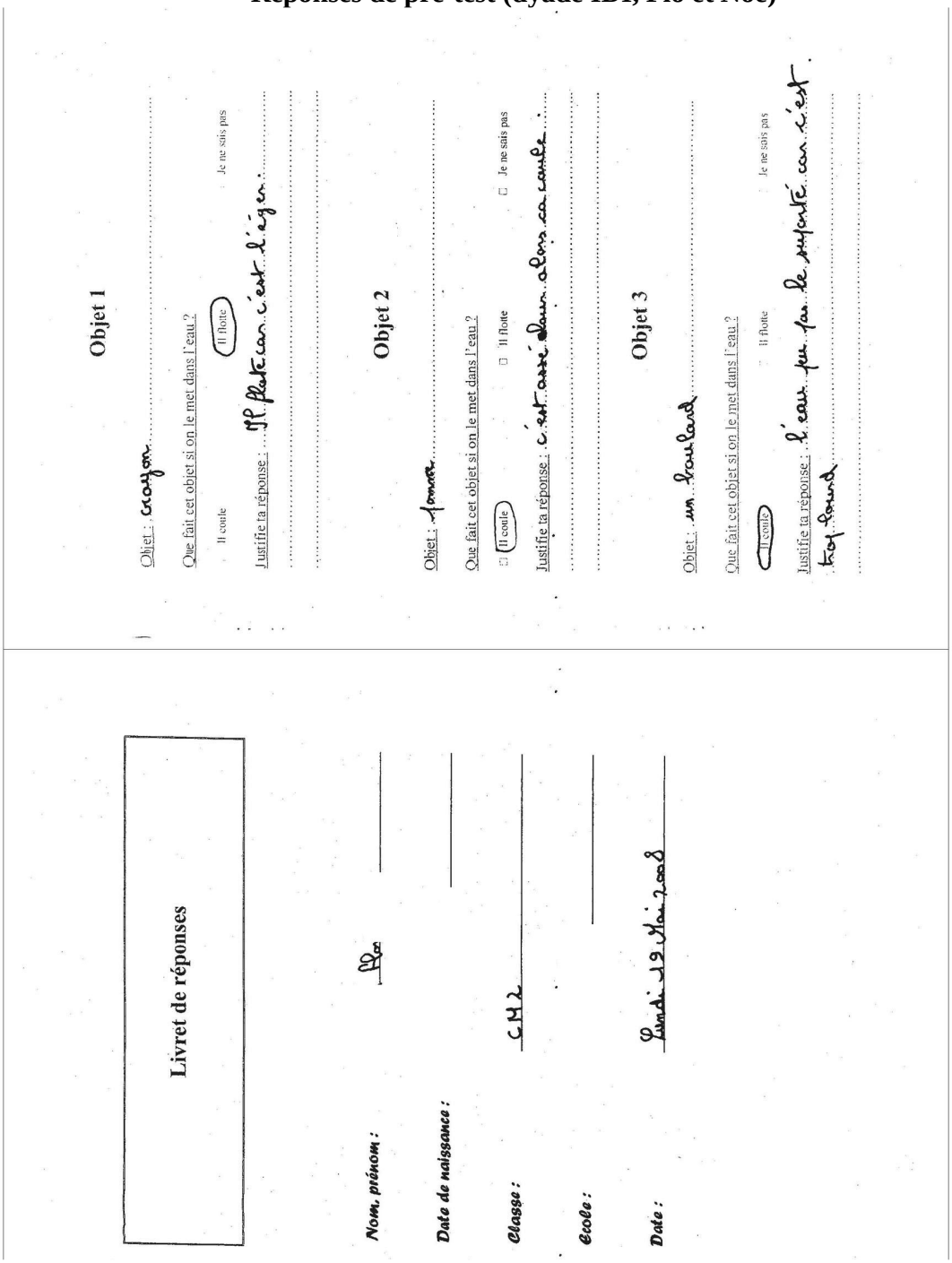
« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	•	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Annexe R – Feuilles de réponse de Flo et Noe

Réponses de pré-test (dyade IDI, Flo et Noe)



Livret de réponses

Nom, prénom : Noe

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : Lundi 19 Mai 2008

Objet 1

Objet : crayon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il flotte car c'est l'air.

Objet 2

Objet : Aimant

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est aussi dans l'eau car coule.

Objet 3

Objet : un bouchon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : l'eau fait pas le poussé car c'est toi fond.

Objet 4

Objet : une boîte en bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule (Il flotte) Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il y a de l'air à l'intérieur.

Objet 5

Objet : une cuillère

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : l'eau ne peux pas la retenir c'est trop lourd

Objet 6

Objet : [illegible] épingle en bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : le bois prend l'eau donc il coule

Objet 7

Objet : clé

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : le fer est trop lourd donc elle coule.

Objet 8

Objet : pinot

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule (Il flotte) Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est gras n'est il y a une partie la ou il y a le tuyau ou se trouve les marteaux il y a de l'air.

Objet 9

Objet : voiture

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : l'eau ne peux pas résister a une voiture.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : balle (balon de foot)

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flote car il y a beaucoup d'air a l'intérieur.

Objet 11

Objet : arbre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne c'est pas pourquoi il flote.

Objet 12

Objet : iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Je ne c'est pas quoiquoi

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Il y a de l'air a l'intérieur de l'objet c'est ce qui le fait flotter. L'air le rend plus léger.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	X	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	X	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : Noe

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : Lundi 19 Mai 2008.

Objet 1

Objet : crayon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est léger

Objet 2

Objet : pomme

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est lourd

Objet 3

Objet : bille

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est du verre donc sa coule

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : boîte en bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Le bois c'est lourd, mais au début ça va flotter puis ça va couler

Objet 5

Objet : cuillère

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle est plus lourd d'un coté que l'autre, c'est du fer

Objet 6

Objet : Bout de bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il est léger il n'i a pas de fer dessus.

Objet 7

Objet : clés

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle coule car c'est du fer.

Objet 8

Objet : piano

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Ça coule, il est lourd

Objet 9

Objet : voiture

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est lourd il y a de fer

C

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : Balle

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est léger, car il y a de l'air dedans et le plastique flotte il ne laisse pas rentrer l'eau.

Objet 11

Objet : l'arbre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Car c'est lourd.

Objet 12

Objet : iceberg

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Car glace c'est léger c'est comme l'eau.

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Il y des objets qui l'aisse rentré l'eau donc ils coulent D'autre ne l'aisse pass passer l'eau donc ils flotent

« Comment trouves-tu tes explications ? »

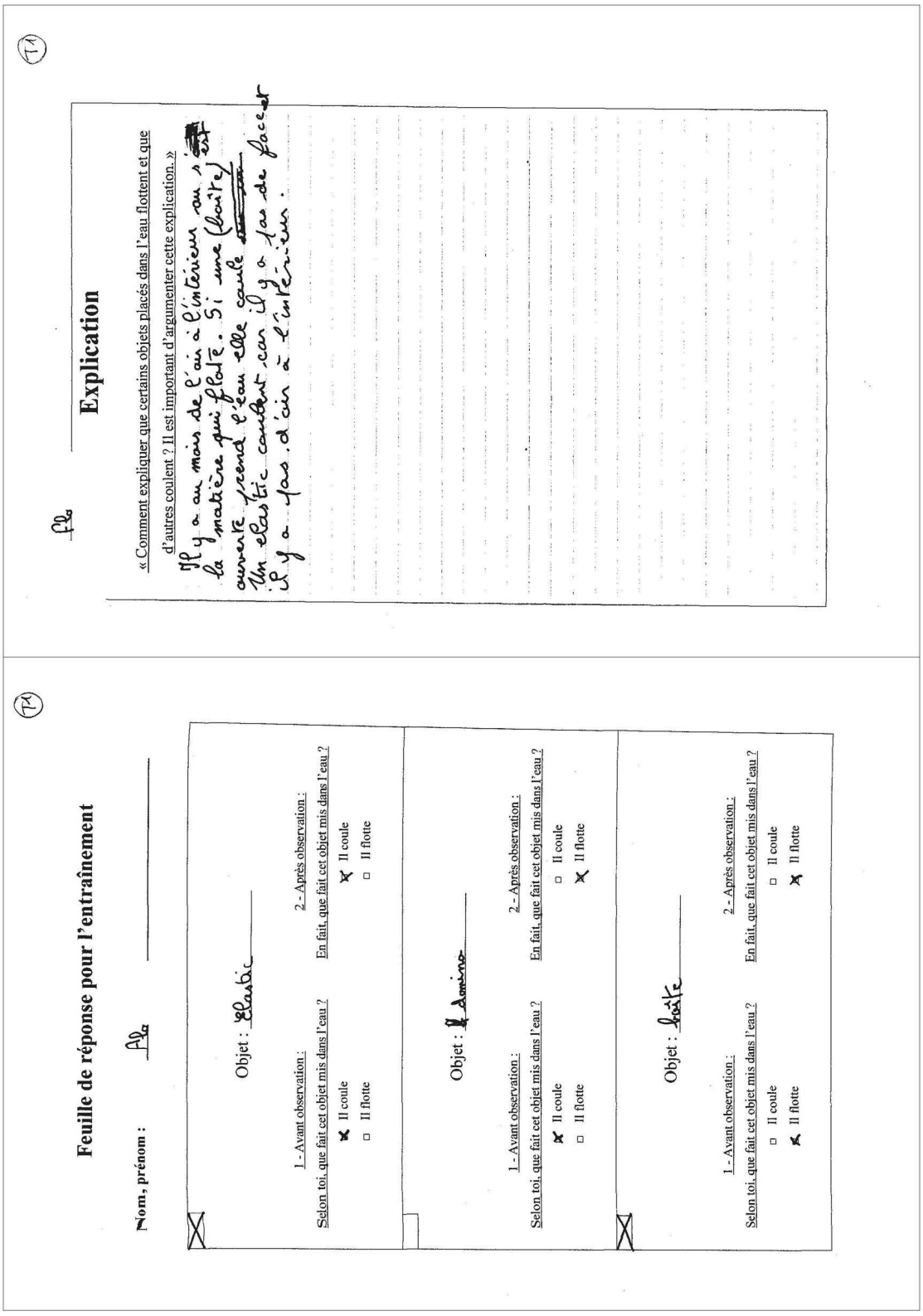
Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	x	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	x	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de l'entraînement (dyade IDI, Flo et Noe)



Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Flo

Objet : Elastic

1 - Avant observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

2 - Après observation :
En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

Objet : L'Amino

1 - Avant observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [x] Il coule
- [ ] Il flotte

2 - Après observation :
En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [ ] Il coule
- [x] Il flotte

Objet : Boîte

1 - Avant observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [ ] Il coule
- [x] Il flotte

2 - Après observation :
En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
- [ ] Il coule
- [x] Il flotte

T4

Flo

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Il y a un mois de l'air à l'intérieur ou à côté de la matière qui flotte. Si une (boîte) ouverte prend l'eau elle coule ~~aussi~~
Un élastic coulera car il y a pas de place il y a pas d'air à l'intérieur.

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Noa

Objet : élastique

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : Domino

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☐ Il coule
☐ Il flotte	☒ Il flotte

Objet : boite

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☐ Il coule
☐ Il flotte	☒ Il flotte

Noa

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Ils coulent car → ils sont plus lourd que l'eau même si les objet sont léger ils peuvent couler.
Le domino est plat, il flotte bien

Les boites en fer léger flotte

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

T2

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Flo et Noe

Objet : trombone

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : une bouteille remplit

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☐ Il coule
☒ Il flotte	☒ Il flotte

Objet : une bouteille pleine

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

T2

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Quand il y a de l'air à l'intérieur ça flote
Quand ça coule c'est ça ne pas de l'air.
Quand on remplit un objet qui flote il coule car il n'y a plus d'air à l'intérieur.
Quand il y a quelque chose ~~de solide~~ qui coule dans la boîte elle flote

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

(T3)

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Noe

Objet : gomme

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : un dés

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☒ Il coule
☒ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : coquelle

1 - Avant observation : Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	2 - Après observation : En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☐ Il flotte	☐ Il flotte

(T3)

Noe

Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

Souvent les objets qui coulent font + de Og mais pas tout le temps
Si on met un objet qui coule avec un objet qui flote ils flotte tous le temps.
Le plus souvent c'est les objets rempli qui coule.
Si on met un objet qui flotte sur un objet qui coule ils se sépare celui qui flotte flotte et l'autre coule

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

T3

Feuille de réponse pour l'entraînement

Nom, prénom : Ala

Objet : gomme

1 - Avant observation :	2 - Après observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☒ Il coule
☒ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : dé

1 - Avant observation :	2 - Après observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☒ Il coule	☒ Il coule
☒ Il flotte	☐ Il flotte

Objet : cuillère

1 - Avant observation :	2 - Après observation :
Selon toi, que fait cet objet mis dans l'eau ?	En fait, que fait cet objet mis dans l'eau ?
☐ Il coule	☒ Il coule
☒ Il flotte	☐ Il flotte

T3

Ala

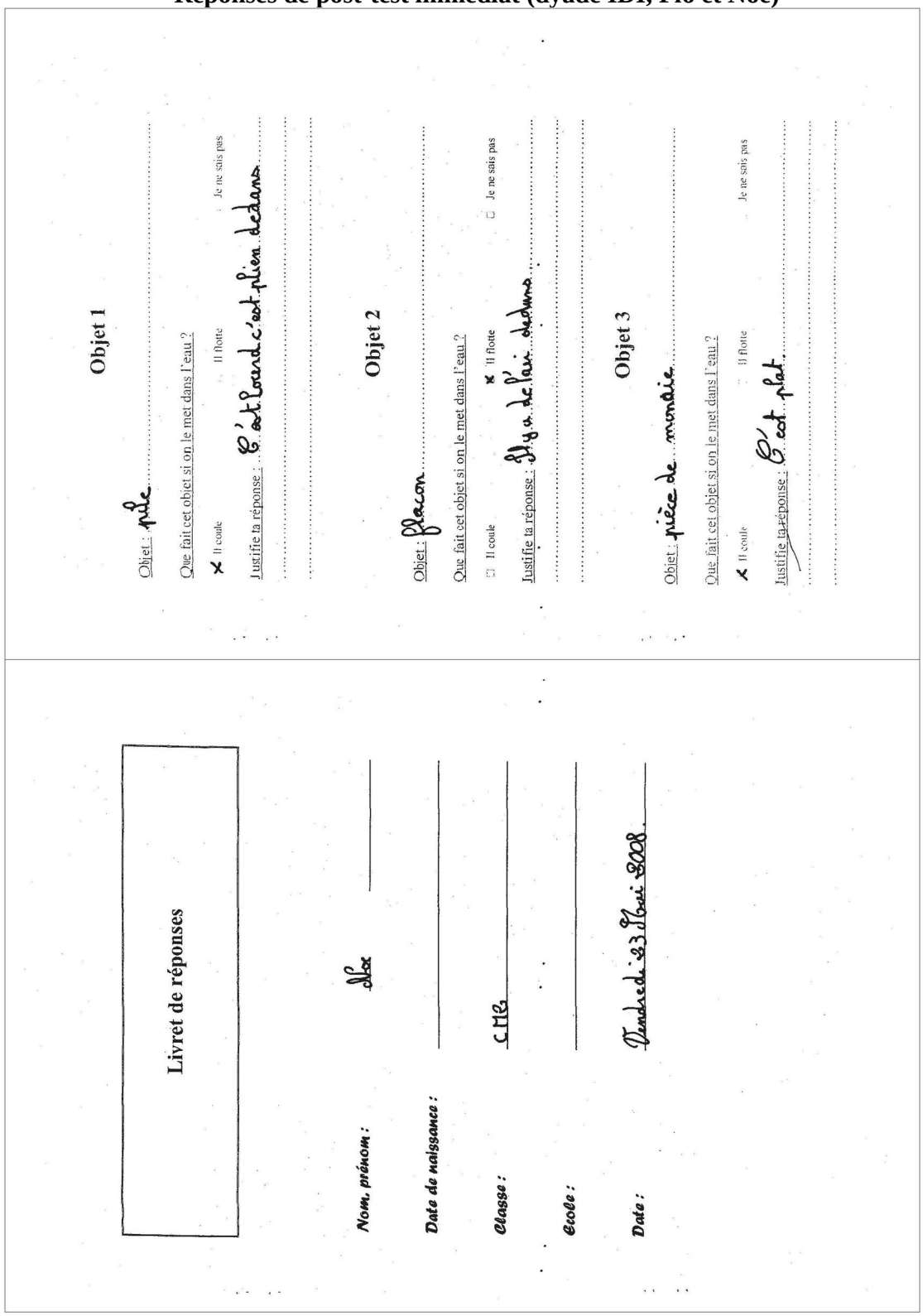
Explication

« Comment expliquer que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? Il est important d'argumenter cette explication. »

quand ils sont plein et lourds ils coulent.
quand ils sont vide à l'intérieur et quand ils flottent
quand ils sont plein est légé ils flotte ~~flotte~~ coulent
quand ils sont plein et lourd ils coulent aussi.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test immédiat (dyade IDI, Flo et Noe)



Livret de réponses

Nom, prénom : doc

Date de naissance : _____

Classe : CM2

Ecole : _____

Date : Vendredi 23 Mai 2008

Objet 1

Objet : nîle

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

× Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il est lourd c'est plein dedans

Objet 2

Objet : Bacon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule × Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il y a de l'air dedans

Objet 3

Objet : pièce de monnaie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

× Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est plat.

Objet 4

Objet : un stylo

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il y a de l'air dedans.

Objet 5

Objet : Bouchon de bouteille

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il va prendre l'eau dedans.

Objet 6

Objet : éponge

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle va absorbé l'eau et coulé.

Objet 7

Objet : L'ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est lourd, c'est fait pour couler.

Objet 8

Objet : coffre à jouet

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : [redacted] c'est lourd.

Objet 9

Objet : Ballon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est rempli d'air même si on le plonge dans l'eau il remonte.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : flacon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule | Il flotte | ✗ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il fond mais je crois que ça flotte.

Objet 11

Objet : cahier

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

✗ Il coule | ☐ Il flotte | ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il prend l'eau puis comme il a pris l'eau ça coule.

Objet 12

Objet : un caillou

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

✗ Il coule | Il flotte | Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Car on en voit dans les ruisseaux.

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Il y a des objet qui absorbant l'eau donc il coule
D'autre qui l'a laisse pas passer donc il flotte.
Souvent les objet qui on de l'air dedans flotte.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	✗	✗	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	✗	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : Ela

Date de naissance :

Classe :

Ecole :

Date : Vendredi 23 Mai 2008

Objet 1

Objet : fille

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : trop lourd et la fille est pleine à l'intérieur.

Objet 2

Objet : flacon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il est rempli d'air est l'air le fait flotté.

Objet 3

Objet : pièce

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : trop lourd est il y a pas d'air à l'intérieur

CX

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : sifflet

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☑ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : la matière ne fait flotter car ça ne prend pas l'eau.

Objet 5

Objet : fond de bouteille en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☑ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il flotte mais si on mais de l'eau dans le creu il coule.

Objet 6

Objet : éponge

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☑ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il prend l'eau

Objet 7

Objet : une ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☑ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est du fer est c'est gros

Objet 8

Objet : cofre à jouet est il y a des jouets

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☑ Il coule ☑ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : car il y a de l'air mais il coule si il prend l'eau

Objet 9

Objet : ballon de plage

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☑ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : il est remplit d'air

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : glaçon

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

Il coule (Il flotte) Je ne sais pas

Justifie ta réponse : la matière flote mais je ne sais pas pourquoi.

Objet 11

Objet : cerlier

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : le papier flote mais pas l'[illegible] ongtemps car il prend l'eau.

Objet 12

Objet : petit calamar

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

(Il coule) Il flotte Je ne sais pas

Justifie ta réponse : l'eau ne supporte pas son poid est il est plein a l'intérieur

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

quand il n y a pas d'air a l'interieur est qu'il sont plein il sont lourd dans l'eau ne peut pas les supporté.

si il y a de l'air (est un petit objet) a l'intérieur il flote.

quand il y a pas d'air il y a des objet qui flote mais je ne sais pas pourquoi.

l'air remonte vers le haut (comme une bouteille d'eau).

« Comment trouves-tu tes explications ? »

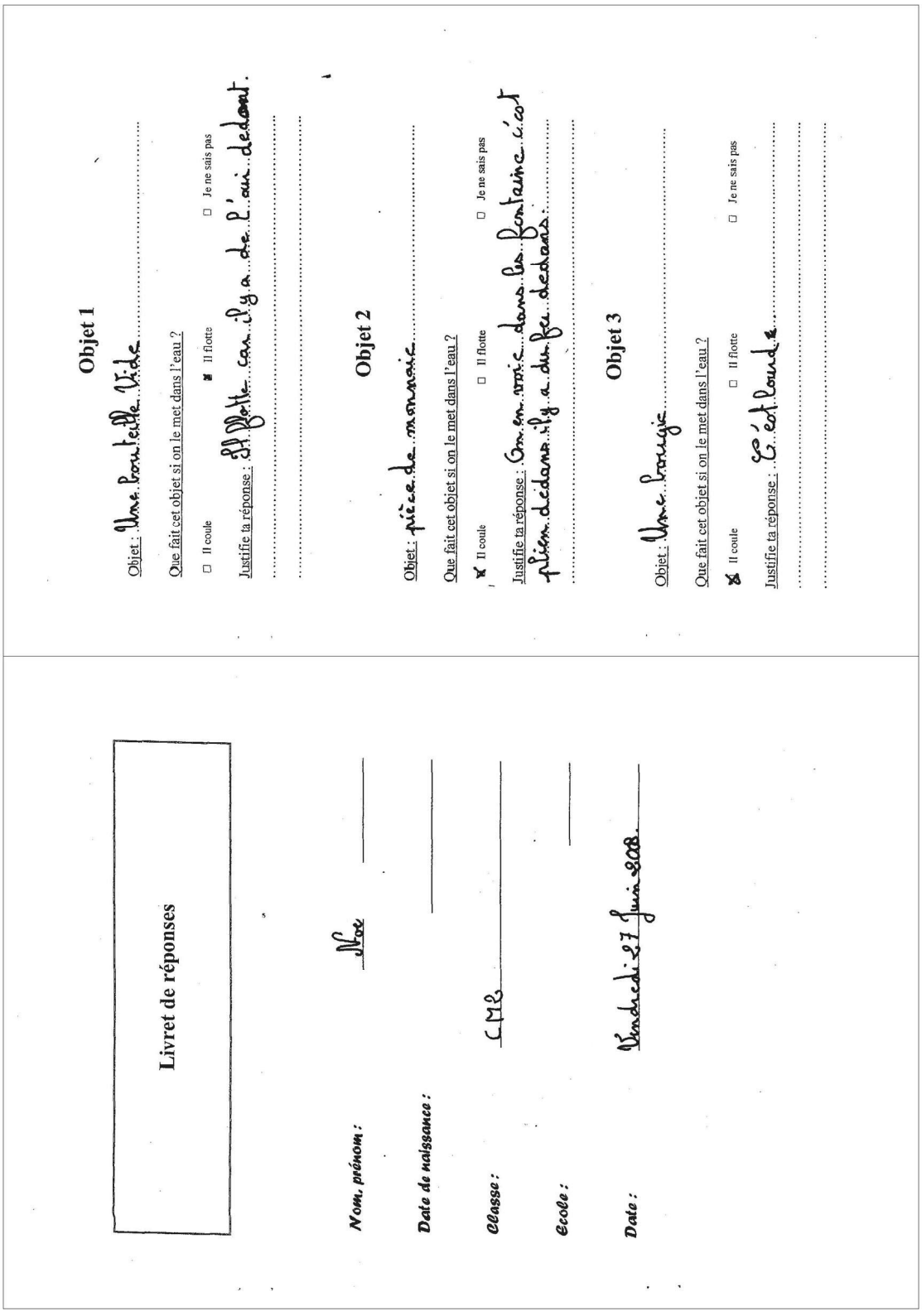
Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	X	o	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	X	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Réponses de post-test différé (dyade IDI, Flo et Noe)



Livret de réponses

Nom, prénom : Noe

Date de naissance : _____

Classe : CM2

Ecole : _____

Date : Vendredi 27 Juin 2008

Objet 1

Objet : Une bouteille Vide

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il flotte car il y a de l'air dedant.

Objet 2

Objet : pièce de monnaie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Car en métal dans les fontaine il coul rien dedans il y a du feu dedans.

Objet 3

Objet : Une bougie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Ce est lourd.

Objet 4

Objet : Pile

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est rempli dedans

Objet 5

Objet : Bille en terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est rempli dedans

Objet 6

Objet : rondin de bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est creux sa va peut être prendre l'eau ou remonter a la surface.

Objet 7

Objet : pomme de terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est lourd

Objet 8

Objet : Bouteille

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☐ Il flotte ☒ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle flotte mais elle va couler car l'eau va rentrer par le bout.

Objet 9

Objet : ancre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est fait exprès (c'est lourd).

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : Boule de pétanque

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est lourd le fer ça coule.

Objet 11

Objet : un bateau paquebot

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est pour flotter.

Objet 12

Objet : un ballon de plage

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il y a de l'air dedans.

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Ils flottent : car il peut y avoir de l'air dedans ou que l'eau ne peut pas rentrer.
Il coule : car c'est lourd.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	X	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	X	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Livret de réponses

Nom, prénom : Flo

Date de naissance :

Classe : CM2

Ecole :

Date : Vendredi 27 Juin 2008

Objet 1

Objet : bouteille en plastique

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est remplis d'air et c'est légé

Objet 2

Objet : pièce de monaie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Il y a pas d'air mi de face, la ou sa pleu a contenu de l'air comme sa me peu pas contenir de l'air sa coule

Objet 3

Objet : bougie

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : La matieme flotte

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 4

Objet : fille

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle est pleine à l'intérieur ce qui la fait couler.

Objet 5

Objet : fille d'argile

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Elle est pleine ça la fait couler

Objet 6

Objet : rondin de Bois

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : Ça prend l'eau.

Objet 7

Objet : pomme de terre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est trop lourd car c'est plein.

Objet 8

Objet : bouteille en verre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : si l'eau ne rentre pas dedans sa flote comme une bouteille en plastique

Objet 9

Objet : l'encre

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est lourd est plein à l'intérieur.

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)

Objet 10

Objet : une boule de pétanque

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☒ Il coule ☐ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : c'est lourd est plein à l'intérieur donc ça coule.

Objet 11

Objet : un paquebot

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : dans la coque il y a de l'air et les pales l'aide un peu a flotté

Objet 12

Objet : ballon de plage

Que fait cet objet si on le met dans l'eau ?

☐ Il coule ☒ Il flotte ☐ Je ne sais pas

Justifie ta réponse : C'est légé est plein d'air à l'intérieur

Explication

« Comment expliques-tu que certains objets placés dans l'eau flottent et que d'autres coulent ? »

Soit il prend l'eau et il coule
Soit il y à de l'air est il ne coule pas.

« Comment trouves-tu tes explications ? »

Très bonnes	Bonnes	Moyennes	Peu bonnes	Pas bonnes
o	o	☒	o	o

« Trouves-tu cet exercice d'explication facile ou difficile ? »

Très facile	Facile	Moyen	Difficile	Très difficile
o	o	☒	o	o

Thèse de doctorat : *Apprendre et raisonner* (univ. de Toulouse & univ. de Neuchâtel - R. Boissonnade)