



MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

DUREL Camille
LEISER Elsa

EVALUER LA PENSEE COMBINATOIRE :

*Etude auprès de collégiens à troubles logiques
et tout-venants*

Maîtres de Mémoire

GAUTHIER Corine
METRAL Emmanuelle

Membres du Jury

BO Agnès
DI-QUAL Myriam
THEROND Béatrice

Date de Soutenance
2 juillet 2009

ORGANIGRAMMES

1. Université Claude Bernard Lyon1

Président
Pr. COLLET Lionel

Vice-président CEVU
Pr. SIMON Daniel

Vice-président CA
Pr. ANNAT Guy

Vice-président CS
Pr. MORNEX Jean-François

Secrétaire Général
M. GAY Gilles

1.1. Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Grange
Blanche
Directeur
Pr. MARTIN Xavier

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. ROBIN Olivier

U.F.R de Médecine Lyon R.T.H.
Laennec
Directeur
Pr. COCHAT Pierre

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur
Pr. LOCHER François

U.F.R de Médecine Lyon-Nord
Directeur
Pr. ETIENNE Jérôme

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Pr. MATILLON Yves

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Directeur
Pr. GILLY François Noël

Département de Formation et Centre
de Recherche en Biologie Humaine
Directeur
Pr. FARGE Pierre

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (C.C.E.M.)
Pr. GILLY François Noël

1.2. Secteur Sciences :

U.F.R. de Biologie
Directeur
Pr. PINON Hubert

U.F.R. de Mathématiques
Directeur
Pr. GOLDMAN André

U.F.R. de Chimie et Biochimie
Directeur
Pr. PARROT Hélène

U.F.R. de Physique
Directeur
Mme FLECK Sonia

U.F.R. des Sciences de la Terre
Directeur
Pr. HANTZPERGUE Pierre

Centre de Recherche Astronomique de
Lyon - Observatoire de Lyon
Directeur
M. GUIDERDONI Bruno

1.3. Secteur Sciences et Technologies :

U.F.R. Des Sciences et
Techniques des Activités
Physiques et Sportives
(S.T.A.P.S.)
Directeur
Pr. COLLIGNON Claude

U.F.R. de Mécanique
Directeur
Pr. BEN HADID Hamda

U.F.R. d'informatique
Directeur
Pr. AKKOUCHE Samir

Institut des Sciences Financières et
d'Assurance (I.S.F.A.)
Directeur
Pr. AUGROS Jean-Claude

IUFM
Directeur
M. BERNARD Régis

U.F.R. de Génie Electrique et des
Procédés
Directeur
Pr. CLERC Guy

I.U.T. A
Directeur
Pr. COULET Christian

Institut des Sciences et des
Techniques de l'Ingénieur de Lyon
(I.S.T.I.L.)
Directeur
Pr. LIETO Joseph

I.U.T. B
Directeur
Pr. LAMARTINE Roger

2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation

FORMATION ORTHOPHONIE

Directeur ISTR
Pr. MATILLON Yves

Directeur de la formation
Pr. TRUY Eric

Directeur des études
BO Agnès

Directeur de la recherche
Dr. WITKO Agnès

Responsables de la formation clinique
PERDRIX Renaud
GUILLON Fanny

Chargée du concours d'entrée
PEILLON Anne

Secrétariat de direction et de scolarité
BADIOU Stéphanie
CLERC Denise
MASSONI Caroline

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord nos maîtres de mémoire : Emmanuelle Métral pour nous avoir aiguillées sur ce thème, et Corine Gauthier pour son aide et ses conseils, tant au niveau de la théorie qu'au niveau de la recherche expérimentale.

Merci à Catherine Charbonnier, Annie Côte, Gabrielle Gothié, Pascale Ollagnon, et à leurs patients, qui nous permis de constituer une part de notre population.

Nous remercions également les personnes qui nous ont permis de rencontrer les autres collégiens de notre étude : en particulier Olivier Robin pour son efficacité et sa disponibilité, mais aussi Myriam Camus, principale du collège Immaculée Conception, ainsi que Christine Tiraboschi-Chosson, Claire Gavault et Natacha Mallet.

Un grand merci à tous les collégiens qui ont participé avec bonne volonté aux pré-tests et aux passations.

Merci à Marjorie Tana-Idelovici, qui nous a donné l'occasion d'approcher de plus près le raisonnement des adolescents, ainsi qu'à Catherine Charbonnier et Anne Noblet, qui ont pu nous conseiller dans l'élaboration de notre mémoire.

Merci à Bastien Durel pour sa solution informatique à un délicat problème d'acide sulfurique.

Merci à Jeannot et Suzy.

Nous remercions Agnès Witko pour son professionnalisme et sa gentillesse, ainsi qu'Anne-Laure Charlois et Cécile Poirot qui nous ont apporté leurs précieuses compétences.

Un grand merci à nos familles et à nos amis, qui nous ont supportées dans tous les sens du terme, nous ont patiemment écoutées, ont accepté de nous servir de cobayes et nous ont ainsi apporté un soutien indispensable, sans lequel nous n'aurions jamais pu noircir toutes ces pages.

Merci spécial à Anne et à Ana qui ont été là dans les pires et les meilleurs moments.

Merci à Guillaume pour sa patience et son écoute, ainsi que pour tout ce qu'il m'a apporté depuis que l'on se connaît.

Enfin, merci à Bibi, car à un c'est bien, mais à deux, c'est mieux !

SOMMAIRE

ORGANIGRAMMES	2
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	6
INTRODUCTION	8
PARTIE THEORIQUE	9
I. Cadre théorique piagétien	10
II. Les troubles de la logique, un aspect important de la dyscalculie	16
III. Envisager tous les possibles : la pensée combinatoire	21
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	25
PARTIE EXPERIMENTALE	28
I. Population	29
II. Protocole	31
III. Outils d'observation.....	42
PRESENTATION DES RESULTATS	48
I. Préalable.....	49
II. Comparaison des données concernant les deux populations sur l'ensemble du protocole	50
III. Présentation des données recueillies à chaque épreuve	53
DISCUSSION DES RESULTATS	64
I. Analyse de la comparaison entre les sujets TL et TV	65
II. Analyse de la pertinence des différentes épreuves.....	68
III. Limites de notre étude.....	73
IV. Apports et perspectives pour l'orthophonie	75
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	78
ANNEXES	81
Annexe I : Les seize opérations de la logique binaire.....	82

SOMMAIRE

Annexe II : Elaboration de l'épreuve 3.....	83
Annexe III : Epreuve préliminaire, l'usine de jetons.....	84
Annexe IV : Exemple d'une feuille de cotation utilisée lors des passations	86
Annexe V : Détail des stratégies.....	88
Annexe VI : Eléments nécessaires à la passation des épreuves.....	90
Annexe VII : Résultats bruts.....	95
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	96
TABLE DES MATIERES	100

INTRODUCTION

Le domaine logico-mathématique est aujourd'hui en pleine expansion dans la pratique orthophonique. Pourtant, il n'a fait l'objet que de peu de recherches en comparaison aux autres domaines du langage écrit, comme par exemple la dyslexie. De fait, la description des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique est encore peu aboutie, et repose aujourd'hui sur plusieurs modèles explicatifs. L'un d'eux repose sur une approche développementale, et donne une importance centrale au versant logique des troubles du calcul. Cette approche, héritée du modèle constructiviste de Jean Piaget, et à laquelle nous allons nous intéresser, représente une des bases du bilan et de la rééducation pratiqués par une part importante des orthophonistes.

C'est principalement au cours de nos différents stages en cabinet libéral que nous avons pu découvrir et nous intéresser au domaine logico-mathématique, et plus particulièrement à cette approche logique. Nous avons pu y voir de jeunes enfants, mais aussi des adolescents scolarisés au collège. Cependant, la prise en charge de ces derniers n'est pas toujours envisagée par les orthophonistes, qui, manquant d'outils d'évaluation et de rééducation pour cette population plus âgée, semblent parfois démunis.

Nous nous sommes alors plus particulièrement penchées sur la rareté des outils d'évaluation standardisée destinés aux adolescents. En effet, les outils existants relèvent principalement d'une utilisation empirique et n'ont pas fait l'objet d'une standardisation. De plus, ils sont principalement destinés à des enfants jeunes, de par leur présentation et de par les opérations logiques qu'ils évaluent.

Nous avons donc souhaité contribuer à l'évaluation des troubles de la logique en nous intéressant aux épreuves qui pourraient être proposées aux collégiens. De plus, en analysant les comportements et résultats que pourraient avoir des adolescents ayant des troubles de la logique, par rapport à des adolescents tout-venants, nous espérons obtenir des informations sur les éléments qui permettent de les différencier et qui méritent donc notre attention au cours du bilan.

Nous allons aborder au sein d'une première partie la théorie piagétienne qui précise les différents modes de pensée que l'on peut rencontrer, notamment chez l'adolescent. Ensuite, nous nous intéresserons à l'évaluation du versant logique des troubles du calcul, avant de détailler les différents aspects de la pensée combinatoire, qui nous est apparue comme une structure clé du raisonnement de l'adolescent.

A la suite de ces aspects théoriques, nous détaillerons notre expérimentation, puis nous présenterons et discuterons les résultats de notre étude.

Chapitre I
PARTIE THEORIQUE

I. Cadre théorique piagétien

1. La théorie piagétienne : principes et méthodes

1.1. Les mécanismes du développement de l'intelligence

Au cours de ses recherches, Jean Piaget s'est intéressé au développement de l'enfant afin de comprendre comment se construisent les connaissances chez l'homme. « *Toute la théorie de Piaget part de l'hypothèse d'une liaison entre les structures normatives de la pensée scientifique et la genèse de la logique chez l'enfant* ». (Bideau, Houdé, & Pardinielli 1993, p. 36 cité par Troadec & Martinot 2003, p. 56). Afin de répondre à ses questionnements, Piaget développe l'épistémologie génétique, qui a pour but d'étudier la mise en place progressive des structures de l'activité et de leur construction au sein de l'interaction entre le sujet et l'objet, chez le sujet épistémique, sujet général (Dolle, 1999).

Piaget se situe dans une perspective constructiviste selon laquelle l'acquisition de connaissances est possible grâce à la construction de structures élaborées progressivement au cours de stades de développement. Il décrit quatre grands stades : le stade sensori-moteur, le stade pré-opératoire, le stade opératoire concret et le stade formel, comportant chacun un niveau de préparation et un niveau d'achèvement. Selon la théorie épistémologique, le passage d'un stade à l'autre se fait selon un ordre constant chez tous les sujets (Troadec & Martinot, 2003).

Chacun des stades est caractérisé par une nouvelle structure d'ensemble, qui coordonne soit les actions, soit les opérations de pensée. La nouvelle structure intègre celle du stade précédent et s'élabore progressivement à un niveau supérieur. De même, l'accès à un nouveau stade n'implique pas que les anciennes conduites ou les acquis des précédents stades disparaissent totalement.

Inspiré par sa formation de biologiste, Piaget conçoit et décrit l'intelligence comme une forme d'adaptation à l'environnement. Les processus d'assimilation et d'accommodation sont les mécanismes de cette adaptation. Lors de l'assimilation, l'objet est intégré tel quel par la structure du sujet. Toutefois, lorsque celle-ci se heurte à une résistance du milieu, l'accommodation permet de modifier ces structures ou d'en construire de nouvelles.

C'est la preuve d'une activité du sujet qui réagit en compensant les contraintes du milieu et des objets pour rétablir un équilibre (Rammozzi-Chiarottino, 1989).

1.2. L'entretien piagétien

Afin de comprendre au mieux la pensée de l'enfant dans son développement psychogénétique, Jean Piaget fait intervenir dans ses expérimentations le langage, en relation avec l'activité de l'enfant. Le sujet est donc amené simultanément à manipuler le matériel qu'on lui propose, tout en répondant à un ensemble de questions adaptées à ses actions (Bak, 1997). Ces questions sont volontairement très ouvertes : en effet, on veut

éviter à tout prix d'induire une réponse chez l'enfant, afin de s'approcher au mieux des conduites qu'on observerait chez lui en situation naturelle.

Mais, derrière l'entretien qui semble naturel, existe une méthode de contrôle rigoureuse. La situation proposée se rapproche de l'expérimentation scientifique dans le sens où elle repose toujours sur une hypothèse théorique qu'elle cherche à éprouver (Bideaud, Houdé & Pedinielli, 1993). De ce fait, l'entretien est jalonné de questions-clés qui sont pré-déterminées, en fonction des comportements que l'expérimentateur souhaite mettre en évidence. De plus, afin de cerner précisément la représentation de l'enfant et le sens qu'il accorde aux termes utilisés, des séries de questions relativement proches lui sont proposées (Morgado & Parrat-Dayan, 2002).

Cette démarche sera qualifiée par Ducret (2004, cité par Meljac & Lemmel, 2007) de « méthode critique-clinique ». En effet, elle est une méthode clinique dans le sens où elle consiste à converser avec le sujet, à le suivre dans ses réponses par des contre-suggestions et des requêtes systématiques de justification. Les conditions de cette interaction ne sont pas standardisées, dépassant ainsi la situation de test d'efficacité, et son objectif n'est pas de noter une performance, mais bien d'analyser les mécanismes complexes qui régissent le raisonnement de l'enfant. Mais elle est aussi une méthode critique, car elle se méfie des jugements hâtifs que l'expérimentateur pourrait porter sur les comportements qu'il observe chez l'enfant : le clinicien ne doit pas tirer ses suggestions ou contre-suggestions de sa logique propre, mais du niveau de raisonnement habituellement observé chez des sujets de même âge ou d'âge immédiatement voisin.

Cette méthodologie, adoptée par Piaget et ses collaborateurs, a été créée pour la recherche, et nous fournit un répertoire très riche de situations expérimentales précisément décrites. Dans le cadre d'une démarche de soins, elle nous permet l'observation et l'analyse du mode de pensée de l'enfant au regard de la théorie piagétienne.

2. Le développement de la pensée logique : de la naissance à l'adolescence

2.1. De l'action vers l'opérativité

2.1.1. Stade sensori-moteur : stade I

Le stade sensori-moteur recouvre la période de la naissance à l'âge de deux ans environ. L'enfant jouit alors d'une intelligence pratique, sans pensée ni représentation. Piaget considère qu'à la naissance, l'enfant ne possède que des réflexes élémentaires qu'il exerce : il ne se différencie pas du monde extérieur et n'en perçoit pas les objets. Puis, grâce aux processus d'assimilation et d'accommodation, il devient capable de coordonner ses actions. Il va progressivement construire son intelligence en passant par différentes formes d'adaptation, et ainsi commencer à organiser les notions de permanence de l'objet, d'espace, de temps et de causalité.

2.1.2. Stade pré-opératoire : stade II

De l'âge de deux ans à sept ou huit ans, l'enfant se situe dans le stade de préparation des opérations concrètes : le stade pré-opératoire. Entre deux et quatre ans, l'enfant accède à la pensée symbolique et à la représentation. Il enrichit son action en l'intériorisant. Le langage, l'imitation, le jeu symbolique et le dessin lui permettent de construire des représentations. L'enfant va ré-élaborer ses structures du niveau sensori-moteur pour réaliser un palier d'équilibre à un niveau supérieur.

A partir de quatre ans, va réellement démarrer la période de préparation à l'opérativité. La pensée de l'enfant est d'abord qualifiée d'égocentrique : elle est centrée sur le sujet et son activité. Le monde ne se distribue pas en catégories logiques générales mais en éléments particuliers, référencés par rapport au sujet lui-même (Dolle, 1999). De cette intuition primaire globale, l'enfant va se décentrer et ainsi évoluer vers une intuition articulée de plus en plus mobile, qui lui permet d'adopter un autre point de vue (Tran-Thong, 1986). Ses représentations vont alors pouvoir se coordonner au stade suivant pour se constituer en groupements opératoires.

2.2. Des opérations concrètes aux opérations formelles

2.2.1. Le stade des opérations concrètes : stade III

Comme son nom l'indique, le stade des opérations concrètes (sept à douze ans environ) est caractérisé par une pensée opératoire : le sujet est donc capable de réaliser des opérations, c'est-à-dire de se détacher de son point de vue propre et de prendre du recul par rapport à la situation perceptive. Il prend en compte les transformations et non plus seulement les états successifs de la situation. Chacun de ces états est ainsi considéré comme la résultante d'une ou plusieurs transformations (Dolle, 1999). Toutefois, ces opérations sont encore limitées à des objets concrets ou à des données immédiates.

La grande nouveauté de ce stade est l'apparition de la réversibilité de la pensée, que Piaget décrit comme la « *capacité d'exécuter une même action dans les deux sens de parcours, mais en ayant conscience qu'il s'agit de la même action* » (Piaget, 1957, p. 44, cité par Tran-Thong, 1986). Ainsi, lorsqu'il observe la réalisation d'une transformation, l'enfant est capable d'envisager la transformation inverse, qui permettrait de revenir au point de départ (Longeot, 1978).

Cette nouvelle capacité s'exprime par exemple dans la construction progressive de l'opération infralogique de conservation : en effet, le retour à l'identique est toujours possible malgré les transformations subies. Ainsi, dans une tâche où l'on va déformer devant l'enfant une boule de pâte à modeler, ce dernier pourra concevoir la conservation de la matière comme nécessaire et certaine, parce qu'il a pu mettre en relation les différentes transformations observées et les considérer comme réversibles. Il coordonne ainsi un jeu d'opérations en une structure d'ensemble, dont il est décentré : le groupement (Tran-Thong, 1986).

Les opérations se constituent d'emblée en groupements d'opérations coordonnées grâce à la réversibilité. Les deux principales structures opératoires concrètes sont :

- La classification, qui repose uniquement sur la réversibilité par inversion. En effet, chaque classe s'oppose à sa complémentaire par rapport à la classe immédiatement supérieure : [classe des animaux qui ne sont pas des oiseaux] = [classe des animaux] – [classe des oiseaux]. A la fin du stade opératoire, le sujet comprend l'inclusion des classes. Il est également capable d'addition et de multiplication logiques, alors qu'auparavant il ne parvenait qu'à juxtaposer les critères. (Piaget, 1971).
- La sériation, basée sur les relations, qui coordonne les différences ordonnées (relations asymétriques). La sériation repose uniquement sur la réversibilité par réciprocity (si $B < C$, alors par réciprocity $C > B$).

On doit bien noter qu'à ce stade, l'enfant ne peut pas coordonner réciprocity et inversion : il raisonne successivement avec l'une ou l'autre (Chalon-Blanc, 1997).

Les groupements les plus complexes auxquels parvient la pensée concrète sont les groupements multiplicatifs ou tables à plusieurs entrées (les matrices), obtenues par produit cartésien de deux critères. Nous reviendrons sur ce sujet dans la partie III.

2.2.2. Le stade formel : stade IV

a. Les grandes structures du stade formel

Au niveau des opérations concrètes, les groupements d'opérations se bornent à réunir les classes et les relations de proche en proche par emboîtements ou enchaînements contigus : le champ du possible est ainsi limité à une sorte d'anticipation en direction de la classe ou de la série complète.

Ce sont des groupes incomplets, ou « semi-réseaux » car ils n'atteignent pas la combinatoire qui caractérise les « ensembles de parties », et permettrait d'envisager tous les possibles. Les opérations concrètes se bornent à une action sur des données actuelles, concrètes, et la forme des systèmes opératoires concrets n'est pas encore dissociée des contenus : la pensée concrète structure ainsi de façon parallèle plusieurs domaines hétérogènes. Ce phénomène est par exemple visible au niveau de la conservation, qui ne sera acquise sur tous les contenus qu'après plusieurs années. (Inhelder & Piaget, 1970 ; Longeot, 1978). Or, il se trouve qu'un grand nombre de ces domaines interfèrent entre eux. Le réel finit donc par imposer un mélange des contenus, qui amène le sujet à construire de nouveaux instruments opératoires en coordonnant entre eux les résultats des opérations concrètes. Le sujet réalise donc une opération sur ses propres opérations.

C'est ainsi que de nouveaux mécanismes se mettent en place : il s'agit des opérations formelles, qui en d'autres termes procèdent par opérations « à la seconde puissance », puisqu'elles s'appliquent à d'autres opérations. Elles sont qualifiées de « formelles » car le sujet est capable de raisonner sur les propriétés abstraites des phénomènes sans avoir à

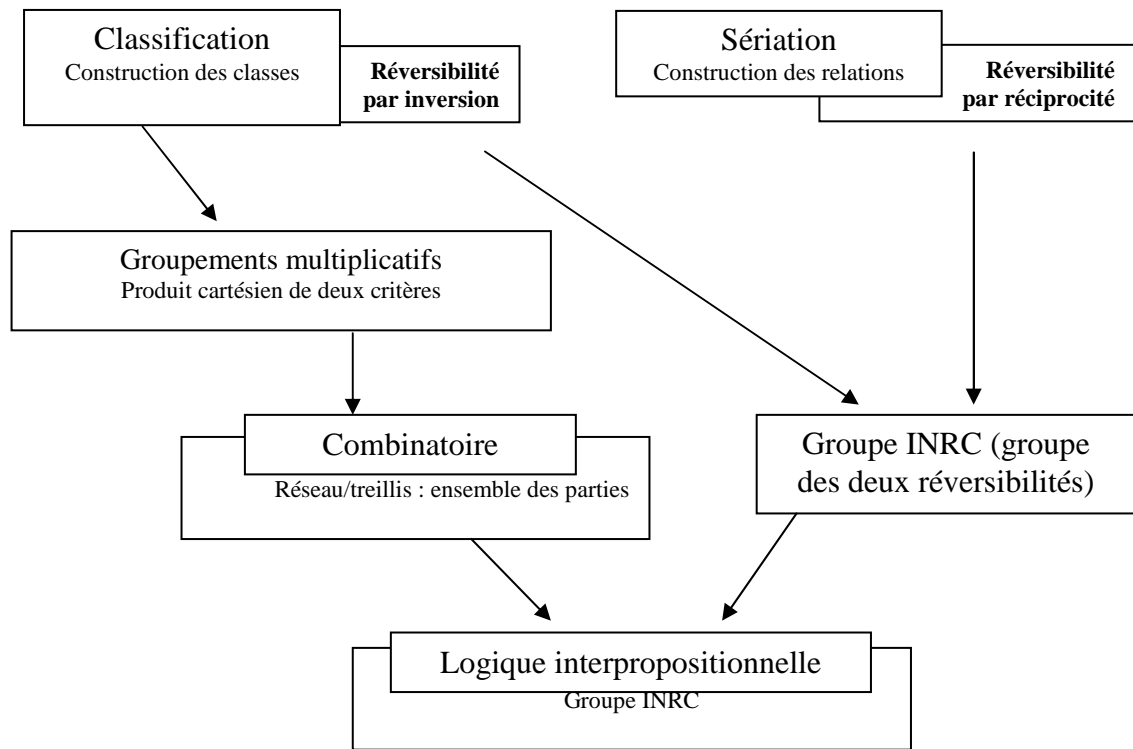


Figure 1 : Les structures logico-mathématiques du stade concret au stade formel, d'après Longeot (1978) et Mendelsohn (1981)

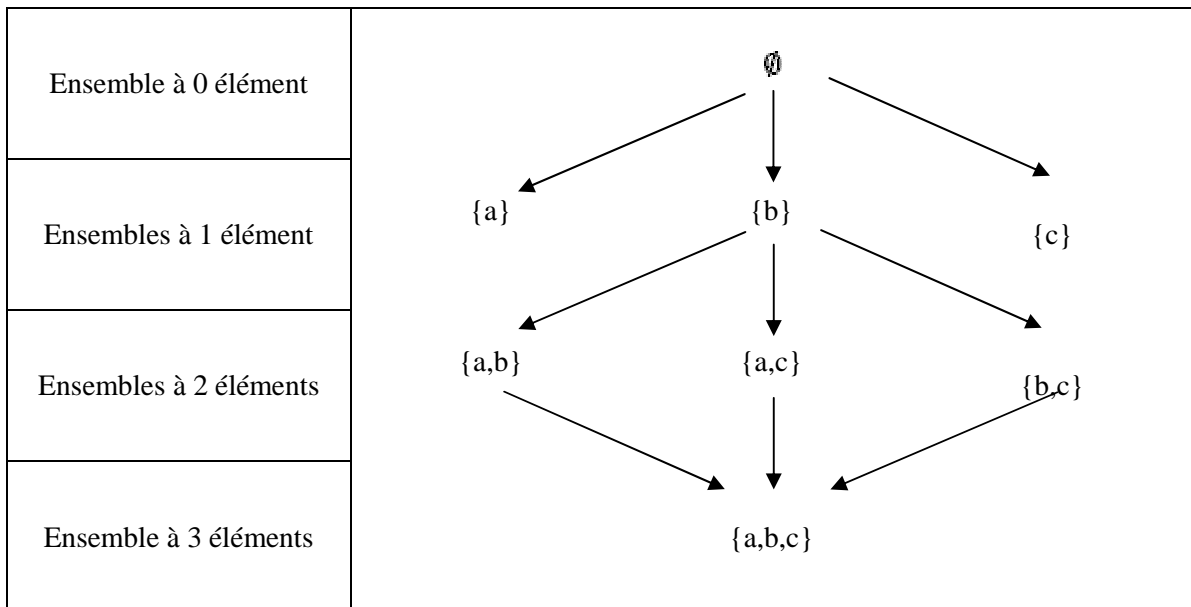


Figure 2 : Exemple d'une structure de réseau : ensemble des parties d'un ensemble de 3 éléments a, b et c, d'après Mendelsohn (1981)

se référer à leur contenu concret ou perceptif (Bond, 1998). Elles commencent à se construire, selon Piaget, à partir de douze ans environ.

L'adolescent atteint ainsi un niveau supérieur d'abstraction (Meadows, 1988) : alors qu'au niveau concret, le possible était un cas particulier du réel, au niveau formel c'est le réel qui devient un cas particulier du possible. En effet, « *au lieu que le possible se manifeste simplement sous la forme d'un prolongement du réel [...] c'est au contraire le réel qui se subordonne au possible* » (Inhelder & Piaget, 1970, p. 220) et qui devient donc un possible actualisé parmi une multitude d'autres. Ce nouveau mode de fonctionnement permet (cf. figure 1):

- D'une part les opérations combinatoires : elles sont la synthèse des opérations de classification et de sériation, et découlent des groupements multiplicatifs concrets. Elles sont l'expression d'une nouvelle structure opératoire : le réseau, ou treillis (cf. figure 2), c'est-à-dire l'« ensemble des parties », sur la base duquel elles fonctionnent. Nous verrons plus loin qu'elles sont des opérations à la seconde puissance.
- D'autre part la coordination des deux réversibilités (inversion et réciprocity) en un seul système, appelé groupe INRC (Identique – Négative – Réciproque – Corrélative) ou groupe des deux réversibilités.

Lorsqu'il s'agit de jugements et non d'objets, la combinatoire et sa structure de réseau permettent la logique interpropositionnelle : une fois construit le treillis de l'ensemble des quatre éléments où p et q sont deux propositions (pq , p non q , non p q , non p non q), le sujet dispose des seize opérateurs de cette logique (cf. annexe I) qu'il va pouvoir manier selon la structure du groupe INRC.

C'est ainsi que l'adolescent va pouvoir raisonner selon une logique hypothético-déductive : face à un problème, il pose des hypothèses et va être en mesure de les vérifier. On observe donc un nouveau comportement de recherche, celui de la démarche scientifique.

Piaget distingue deux sous-stades à l'intérieur du stade formel : une phase de préparation ou d'organisation, le stade IVA, et une phase d'équilibre, ou d'achèvement, le stade IVB. Selon Saint-Cyr (1989), la majorité des adolescents scolarisés au collège sont en train d'élaborer les structures de ce stade : nous pouvons a priori les situer au sous-stade IVA.

b. Le stade formel : un niveau réservé à une élite ?

Jusqu'aux années 1970, Piaget ne semblait pas douter de l'universalité de l'accès au stade formel, comme aux stades précédents. Cependant, plusieurs études menées à cette époque ont montré que les comportements et capacités correspondant à ce stade ne sont observés que dans des populations éduquées, et la plupart du temps dans des pays économiquement avancés. Il a été également montré que ce stade est atteint relativement tard et souvent seulement dans certains domaines, différents selon les sujets (Bradmetz, 1999). Ainsi, une étude de Shayer et al. (1978, cité par Bond, 1998) portant sur une population de dix mille enfants et adolescents a montré qu'à seize ans, seuls 10% ont atteint le stade IVB, et 30% sont au stade formel.

Cependant, l'absence d'universalité du stade formel ne remet pas en cause son existence, ni la validité scientifique de sa description (Bradmetz, 1999). Par ailleurs, comme le fait remarquer Bond (1998), plusieurs recherches de qualité ont montré la robustesse des thèses développées par Piaget à propos des opérations formelles tant sur le plan théorique qu'empirique.

3. Des apports ultérieurs à la théorie de Jean Piaget

3.1. Le sujet clinique

« La théorie opératoire de l'intelligence paraît être celle qui offre l'analyse la plus détaillée et la plus structurée de la genèse et du mécanisme des processus cognitifs. De ce point de vue, elle permet de dépasser le simple aspect descriptif des conduites et d'approcher la dynamique interne de ces processus » (Navarro, 1983, p. 173). Cependant, il nous faut tenir compte du sujet clinique et de ses particularités, comme l'avait pensé Inhelder qui, après avoir contribué à l'étude du sujet épistémique, s'est intéressée aux procédures d'invention et de découverte du sujet particulier (Bideau, Houdé & Pedinielli, 1993).

En effet, « si la démarche logico-mathématique obéit à des lois universelles qui sont celles de la pensée cohérente, si les structures de la réalité sont les mêmes pour tout le monde, la manière d'aborder les unes ou les autres diffère d'un sujet à l'autre » (Jaulin-Mannoni, 2008). La démarche de résolution face à une situation problème change d'un individu à l'autre en fonction de son niveau de développement cognitif, mais aussi en fonction de multiples facteurs : l'héritage génétique, l'histoire personnelle, le milieu culturel, le niveau social (Jaulin-Mannoni, 2008), la familiarité de la tâche, l'expérience (Bee & Boyd, 2003). C'est pourquoi il conviendrait de s'intéresser aux procédures employées par le sujet.

3.2. La variabilité de l'utilisation des stratégies

La théorie des stades n'implique pas que les conduites acquises progressivement pendant le développement disparaissent totalement lorsque le sujet accède à un stade supérieur. Les stratégies sont choisies en fonction de leur efficacité, mais aussi en privilégiant une économie de moyens selon la nature de la tâche. Ainsi, des conduites qui pourraient être considérées comme archaïques sont parfois utilisées (Navarro, 1983).

Ainsi, chez le sujet adulte « formel », Navarro distingue quatre registres de fonctionnement, portant les principales caractéristiques des structures construites dans chacun des grands stades de développement : le registre agi (conduites sensori-motrices), le registre figural (conduites pré-opératoires), le registre concret et le registre formel. Weill-Fassina (1978, cité par Navarro, 1983), précise que parmi ces registres, les plus archaïques sont les plus disponibles ; tandis que les plus développés sont plus difficiles à mettre en œuvre, demandent un effort plus grand et résistent moins aux perturbations. Cependant, ces derniers ont un champ de possibilités et une mobilité bien plus importants.

C'est pourquoi, selon les circonstances et les exigences induites par le milieu, le sujet formel utilisera l'un ou l'autre des niveaux de raisonnement qu'il a à sa portée. Certes, l'enseignement du collège fait progressivement appel à la pensée formelle, et celle-ci est quasiment indispensable à l'assimilation des programmes enseignés au lycée. Mais raisonner dans différentes situations de la vie n'exige pas nécessairement ce type de pensée, d'autant plus que la société nous fournit aujourd'hui de nombreuses compensations évitant d'y avoir recours (Meljac & Lemmel, 2007).

II. Les troubles de la logique, un aspect important de la dyscalculie

1. La dyscalculie développementale

1.1. Définition scientifique de la dyscalculie développementale

La dyscalculie développementale n'est pas un concept uniforme dans la communauté scientifique, clinique ou scolaire. Il en existe de nombreuses définitions, élaborées de façon personnelle par les auteurs à partir d'éléments semblables à ceux relevés pour la dyslexie (Van Hout, 2005). Cependant, il importe de différencier les difficultés transitoires des troubles spécifiques d'apprentissage.

Selon la classification du DSM-IV-TR (2004), il faut trois critères pour le diagnostic des troubles du calcul :

- Les aptitudes arithmétiques évaluées par des tests standardisés, passés de façon individuelle, sont nettement au-dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.
- La perturbation interfère de façon significative dans la réussite scolaire ou les activités de la vie courante faisant appel aux mathématiques.
- S'il existe un déficit sensoriel, les difficultés mathématiques dépassent celles habituellement associées à celui-ci.

« Toutefois, dans l'histoire des recherches, en dépit de l'imperfection des définitions ou en partie à cause d'elles, on a admis assez tôt que la dyscalculie pouvait résulter d'une grande variété de difficultés lors de l'apprentissage des nombres et de l'arithmétique élémentaire » (Van Hout, 2005, p. 147). Il en découle une grande variété des classifications des différents types de dyscalculie, selon qu'elles proviennent d'approches neuropsychologiques ou cognitives souvent inspirées du modèle lésionnel de l'adulte, ou d'approches plus cliniques, comme celle de Mazeau (1999).

De fait « *la compréhension et le diagnostic des dyscalculies développementales en est encore à ses balbutiements* » (Grégoire, 2005, p. 351).

1.2. Une définition clinique de la dyscalculie

Mazeau (1999) rappelle la nécessité de distinguer les enfants qui présentent des résultats faibles en mathématiques dus à des causes environnementales de ceux dont la cause est un dysfonctionnement cognitif. En considérant les différents aspects du nombre (Fayol, 1990 ; Bideaud, 1991, cités par Mazeau), et les compétences cognitives sous-jacentes leur correspondant, elle décrit trois versants de la dyscalculie :

- Un versant logique, s'appuyant sur les travaux de Piaget.
- Un versant linguistique, considérant l'utilisation des mots-nombres oraux et écrits.
- Un versant spatial, lié à la perception des quotités, des quantités, à leur comparaison, leurs transformations et leur comptage.

Ces différents versants donnent alors différents aspects à la dyscalculie, pour laquelle les symptômes, les mécanismes et la prise en charge sont différents. Selon elle, le bilan doit alors permettre d'isoler chacune des fonctions cognitives.

1.3. L'approche piagétienne au sein de la dyscalculie

La théorie piagétienne a été le premier modèle utilisé pour comprendre les troubles du calcul et analyser les compétences sous-jacentes aux performances arithmétiques.

« Bien que certains auteurs cognitivistes aient mis en question la pertinence du modèle piagétien du nombre, nous devons admettre que le calcul numérique ne peut se réduire à l'application automatique d'algorithmes et à la récupération des faits arithmétiques en mémoire. Pour calculer, en particulier mentalement, nous devons pouvoir raisonner sur le nombre. Ce raisonnement est sous-tendu par les opérations logiques décrites par Piaget. C'est grâce à la logique que le calcul prend sens pour l'enfant. Sans logique, ce dernier risque de n'être qu'un « automaths » pour reprendre l'expression de Stella Baruk (1985) » (Grégoire, 2005, p. 348).

Grégoire admet cependant qu'il est nécessaire de remarquer que la théorie piagétienne ne permet pas d'expliquer tous les troubles du calcul rencontrés en clinique.

1.4. Dyscalculie et troubles de la logique en orthophonie

La théorie piagétienne est restée pendant quarante ans la référence de base de l'évaluation et du diagnostic des dyscalculies. Plusieurs courants de rééducation des troubles du calcul en orthophonie se sont construits conjointement autour de cette approche et autour de l'observation de la pathologie en clinique. On peut citer : Le GEPALM, le COGI'ACT, la remédiation cognitive de Denis Bellano, les remédiations des schèmes pertinents de Claire Meljac et les rééducations des dyscalculies proposées par Alain Ménissier (Stroh & Morel, 2004).

Depuis 2002, à la demande des orthophonistes, la mention « raisonnement logico-mathématique » est apparue dans la Nomenclature Générale des Actes Professionnels afin

de mieux décrire les difficultés rencontrées par les enfants suivis en orthophonie. On retrouve cette évolution dans la définition du dictionnaire d'orthophonie, qui décrit la dyscalculie comme un concept qui « [rend] compte à la fois d'un dysfonctionnement dans les domaines de la logique, de la construction des nombres et des opérations sur ces nombres, de difficulté de structuration du raisonnement et de l'utilisation des outils logiques et mathématiques » (Brin, Courrier, Lederlé & Masy, 2004, p. 78).

2. Evaluer les troubles de la logique

L'évaluation de la dyscalculie revêt deux aspects : l'évaluation des performances, c'est-à-dire des acquisitions arithmétiques, et l'évaluation des compétences, soit l'analyse des processus mentaux. Rappelons que selon Grégoire (2005), les capacités logiques sont un des aspects des compétences numériques qui doit être pris en compte dans l'évaluation des troubles du calcul : nous allons donc nous intéresser à l'évaluation de celles-ci.

2.1. Evaluer les troubles de la logique grâce au modèle piagétien

2.1.1. Les apports du modèle piagétien

Selon Piaget, la compréhension du nombre est déterminée par le développement et la coordination de certaines opérations logiques. La maîtrise opératoire du nombre permet alors à l'enfant la maîtrise des calculs arithmétiques. Piaget et ses collaborateurs ont construit des épreuves afin d'évaluer les différentes structures logiques responsables de la construction du nombre. Celles-ci sont utilisées par les cliniciens afin d'évaluer les compétences logiques des enfants présentant des difficultés mathématiques. Ces épreuves ont par exemple été répertoriées par Grize, Pauli et Nathan (1977) qui ont réalisé un inventaire des épreuves à partir d'un travail de prospection dans la riche bibliographie de Piaget.

2.1.2. Des contributions supplémentaires au modèle pour le diagnostic

a. Une hétérogénéité clinique

Les travaux de Piaget portent avant tout sur le sujet épistémique, représentatif de la population générale. Or, pour diagnostiquer le raisonnement de l'enfant dans une perspective piagétienne, il importe de prendre en compte l'hétérogénéité clinique qui ressort de diverses études.

Selon Higé (1997), on peut parler d'hétérogénéité cognitive au niveau des structures décrites par Piaget. Higé étaye ses propos des études de Lautrey (1991), qui soutient l'existence de décalages horizontaux (une même notion, comprise dans un contexte particulier, ne l'est plus dans un autre). Ainsi, dans une étude de deux cent dix sujets de neuf à seize ans se déroulant sur cinq épreuves opératoires, Lautrey constate d'importants décalages : moins de 20% donnent des réponses relevant du même niveau aux cinq épreuves et près de la moitié ont un écart d'un niveau ; et un tiers de la population

présente un écart de deux stades. Higélé caractérise donc trois types d'hétérogénéité à divers niveaux :

- Une hétérogénéité inter-sujets : des individus d'une même classe peuvent être de niveau concret ou de niveau formel.
- Une hétérogénéité intra-sujet : un sujet peut fonctionner au niveau concret dans une opération et au niveau formel dans une autre, selon le type d'opérations et selon le contexte.
- Une hétérogénéité inter-opérations : il n'existe pas d'opération qui soit systématiquement la première maîtrisée par tous les individus. Un sujet peut atteindre un niveau supérieur dans une opération et un niveau moins bon dans une autre, et inversement avec un autre sujet.

Par conséquent, afin d'adapter au mieux la démarche de diagnostic à l'hétérogénéité constatée, on peut affirmer qu'il est important de considérer le profil du sujet et de déterminer le niveau de l'enfant dans chacune des opérations intellectuelles, plutôt que de rechercher un niveau cognitif global.

b. Standardisation et normalisation

Une application clinique des épreuves piagésiennes en vue d'un diagnostic des troubles de la logique demande des aménagements, puisque Piaget les a imaginées dans un but épistémologique et non un but d'évaluation diagnostique. « *Piaget n'a jamais eu le projet de devenir un spécialiste de l'enfance, encore moins de l'enfant, surtout pas des difficultés d'apprentissage* » (Grégoire, 2005). Selon lui, les épreuves de Piaget ne répondent pas aux exigences métrologiques que l'on pourrait avoir, et ceci pour différentes raisons. Ainsi, afin de pouvoir servir plus rigoureusement au diagnostic des troubles de la logique, ces épreuves nécessiteraient d'être standardisées dans des conditions d'examen identiques, et également normalisées sur une population plus récente et plus représentative que celle examinée par Piaget (population genevoise aisée). Ensuite, il serait également pertinent de réaliser une liste exhaustive des conduites des enfants envisagées sous un point de vue développemental.

2.1.3. L'UDN II, exemple de test standardisé inspiré du courant piagésien

L'UDN II (Utilisation Du Nombre II, Meljac & Lemmel, 1999), révision du premier test UDN 80 (Meljac, 1980), a été conçu afin de surmonter la plupart des problèmes posés par l'application clinique des épreuves piagésiennes (Grégoire, 2005) : les procédures de passation et de cotation ont été normalisées. Les conduites des enfants ont été minutieusement observées par les auteurs de façon à faciliter leur analyse par le clinicien.

Ce test est un outil clinique standardisé et normalisé d'examen des compétences logiques qui sous-tendent le raisonnement numérique. Il a pour but d'apprécier le niveau opératoire de l'enfant, mais il a également une visée d'examen fonctionnel (Meljac & Lemmel, 2005). Pour cela, le clinicien va porter son attention sur l'analyse des répartitions des réussites et des échecs selon la nature des tâches, des procédures utilisées et du niveau d'argumentation de l'enfant.

2.2. Evaluer les troubles de la logique en orthophonie

2.2.1. Principes généraux

Afin d'évaluer les troubles de la logique, le clinicien doit faire le bilan de toutes les facultés de raisonnement de l'enfant et des procédures qu'il utilise. (Campolini, Timmermans & Vansteelandt, 2002). Il s'agit en fait de « comprendre, par l'observation, la mise en actions et la discussion, les stratégies mises en œuvre par l'enfant en situation et de pouvoir analyser ses réponses en se référant à un modèle théorique, seul garant du projet de rééducation. [...] Ces situations proposées à l'enfant sont prétexte à raisonner, car raisonner, c'est l'art de découvrir les choses qu'on ignore. Il ne s'agit pas de les découvrir par l'expérience ou les manipulations successives et répétées, mais au contraire les appréhender par déduction à partir d'autres connaissances préalablement établies, seule condition pour que ces découvertes aient valeur anticipatrice » (Calvarin & Morel 1999, p. 58, cités par Campolini et al., 2002). Les situations proposées vont parfois déstabiliser l'enfant et le mettre en conflit cognitif où il va devoir confronter ce qu'il croit ou ce qu'il a compris, à la réalité du problème.

2.2.2. Quelques principes lors de l'examen des troubles de la logique

L'examen opératoire, c'est-à-dire l'examen des structures logiques de l'enfant, doit permettre l'analyse du fonctionnement de la pensée. Les épreuves soumises aux enfants se subdivisent en deux catégories : infralogique (opérations concernant les notions continues, ne concernant que les propriétés de l'objet, vitesse, poids...) et logico-mathématique (opérations concernant des notions discontinues, s'appliquant à des collections d'objets, à leurs rapports, ou aux deux). Elles sont choisies en fonction de l'âge de l'enfant - grâce aux repères apportés par la théorie piagétienne - mais aussi des capacités qu'il va montrer au cours de l'examen. Le clinicien construit des hypothèses sur le développement cognitif de l'enfant, qu'il va affirmer ou infirmer grâce aux épreuves proposées (Bellano, 1989).

Selon l'âge des sujets, on détermine le type de structures employées dans la résolution de problèmes grâce à l'analyse fonctionnelle des conduites. Le modèle piagétien permet de faire des liens entre les différentes structures logiques et les différentes conduites de l'enfant et ainsi de mieux appréhender son fonctionnement cognitif.

En orthophonie, l'examen opératoire se prévaut d'un objectif double : le diagnostic du développement cognitif du sujet, mais également la construction du projet de rééducation. Le diagnostic est possible grâce à l'interprétation des conduites et des arguments de l'enfant au sein d'un ensemble d'épreuves, il ne peut en aucun cas être posé à l'aide d'épreuves isolées. L'attention accordée aux procédures et aux capacités d'évolution des enfants va également permettre au clinicien de construire son projet de remédiation (Bak, 1997). Cette approche fonctionnelle est donc très importante, comme le soulignent également Meljac et Lemmel qui précisent également qu'« *il ne suffit pas toujours de posséder certaines capacités pour être en mesure de les utiliser* » (2005, p. 353).

3. Les épreuves évaluant le stade formel

3.1. Les épreuves de Piaget

Nous n'allons pas dresser une liste exhaustive des épreuves conçues par Piaget afin d'étudier les structures formelles, mais plutôt dégager les différents types d'épreuves qu'il utilisait en donnant quelques exemples. Ainsi, Piaget a utilisé des épreuves mettant en jeu la combinatoire mathématique (les combinaisons, les permutations), la combinatoire propositionnelle (les combinaisons chimiques, la flexibilité des tiges), et la conservation (conservation du mouvement dans un plan horizontal).

3.2. L'UDN II (Meljac & Lemmel, 1999)

Le test de l'UDN II peut être utilisé pour des enfants de quatre à douze ans, et ne peut ainsi être proposé qu'aux adolescents jeunes ou en très grande difficulté car la quasi-totalité des épreuves fait appel aux opérations du stade concret. La seule épreuve destinée à évaluer le stade formel est une épreuve de conservation : la dissociation poids-volume, qui concerne un aspect infralogique des structures formelles.

3.3. L'EPL (Longeot, 1979)

De 1962 à 1965, Longeot et ses collaborateurs ont étalonné sur une population d'enfants de neuf à seize ans une échelle destinée à l'examen individuel d'orientation scolaire et professionnelle, l'Echelle de développement de la Pensée Logique (EPL). Cette échelle, standardisation de certaines épreuves piagétienne, comprend les subtests suivants : épreuve de permutations, épreuve de quantification des probabilités faisant appel au groupe INRC, épreuve du pendule faisant appel à la logique des propositions, épreuve de dissociation poids-volume faisant appel à la conservation. La passation de l'EPL conduit uniquement à établir à quel stade de développement en est l'enfant.

III. Envisager tous les possibles : la pensée combinatoire

1. Qu'est-ce que la pensée combinatoire ?

1.1. L'ouverture du champ des possibles

Dans *Le possible et le nécessaire : l'évolution des possibles chez l'enfant* (1981), Piaget rapporte les résultats d'expérimentations menées auprès d'enfants confrontés à des situations où le sujet doit découvrir pas à pas les variations possibles dans une situation donnée : par exemple, toutes les trajectoires possibles entre deux points.

Face à de telles situations, les conduites évoluent. Au début du développement, il y a indifférenciation entre le réel, le possible et le nécessaire : le réel est le seul possible.

Ainsi l'enfant limite les possibles aux seules solutions qu'il actualise. Mais, progressivement, il construit des possibles de plus en plus nombreux : d'abord envisagés par succession analogique (c'est-à-dire de proche en proche), les possibles deviennent de plus en plus abstraits, car l'enfant perçoit que chaque solution donnée ouvre un nouveau champ de possibles, dont il ne mesure pas encore l'ampleur. Finalement, cette abstraction progressive va ouvrir une infinité de solutions. L'« ensemble des possibles » n'a donc plus de signification, car chaque solution peut en engendrer une infinité d'autres.

C'est là une spécificité de la pensée formelle : le sujet formel est capable de distinguer les trois plans du possible, du nécessaire et du réel, et de percevoir chaque solution comme une simple possibilité parmi un ensemble infini.

1.2. La combinatoire : envisager un champ restreint de possibilités

Or, cet « ensemble des possibles » n'a pas toujours le même sens ni la même étendue : il peut être subordonné à une loi nécessaire. Par exemple, si on cherche toutes les façons possibles de disposer quatre jetons sur une table, on obtient une infinité de variations. Mais on peut restreindre ces possibilités en ajoutant des contraintes : on peut se limiter à toutes les manières de disposer ces quatre mêmes jetons en ligne, ou à tous les ensembles de deux jetons que l'on peut former parmi ces quatre jetons, ou encore à toutes les manières possibles de diviser ces quatre jetons en deux parties, égales ou non... Dans pareil cas, trouver tous les possibles revient à construire l'ensemble des parties, c'est-à-dire le réseau (ou treillis) : en effet, chaque solution est reliée aux autres par un système de variations. Le nombre de possibilités sera fixe. Construire un tel ensemble de solutions correspond aux opérations combinatoires.

Plus spécifiquement, pour Piaget, la combinatoire est une « *forme de la pensée formelle qui consiste à combiner de façon systématique, selon des principes proches de ceux dégagés par la mathématique, soit des objets matériels, soit des opérations logiques et les opérations qui les relient* » (J. Piaget, 2001, cité par Campolini et al., 2002).

1.3. La combinatoire en orthophonie

Si Piaget considère la combinatoire uniquement du point de vue des structures formelles, pour Gibello (1986, p. 35), la combinatoire « *a pour objectif principal la mobilité de pensée* ». Dans le domaine de l'orthophonie, c'est cette vision qui est privilégiée, et par conséquent la combinatoire n'est pas réduite aux opérations formelles mais intervient aussi selon Campolini et al. « *dans la logique des transformations, des classes et des relations* », c'est-à-dire dès le niveau concret. Ils la caractérisent plus généralement comme « *une gymnastique mentale permettant d'envisager toutes les solutions possibles à un problème donné* » (2002, p. 34).

En outre, l'un des principaux objectifs de la rééducation logico-mathématique va être d'aboutir à une mobilité de pensée, c'est-à-dire un « *mode de pensée réversible, capable d'anticiper, de faire des hypothèses et de coordonner des points de vue différents* ». Cette pensée mobile est touchée chez une grande partie des enfants présentant des troubles du raisonnement logico-mathématique, et sa rééducation s'appuie entre autres sur des situations mettant en jeu la pensée combinatoire (Brin et al., 2004).

2. Les opérations relevant de la pensée combinatoire

2.1. Le produit cartésien

Parmi les groupements de la pensée concrète, on se doit de distinguer les classifications multiplicatives, qui s'opèrent au niveau des intersections de classes, c'est-à-dire du produit de deux critères distincts. Ces groupements se traduisent par des problèmes susceptibles d'être résolus par des tables à double entrée : les carrés cartésiens (produit cartésien à deux critères).

L'opération de produit cartésien consiste à associer systématiquement chacune des sous-classes d'une classification avec toutes les sous-classes de l'autre. Toutes les combinaisons possibles doivent être envisagées. La maîtrise de ce groupement conduit donc au seuil des opérations combinatoires. Longeot va même jusqu'à affirmer que « *les opérations du produit cartésien apparaissent comme la condition nécessaire des opérations combinatoires* » (1978, p. 338 cité par Larivée, 1981).

Toutefois, cette opération reste d'un niveau concret, car elle dépend d'un seul niveau, qu'il s'agisse du produit de deux ensembles différents ou du produit d'un ensemble par lui-même.

2.2. La combinatoire mathématique formelle

Les opérations combinatoires mathématiques consistent à dénombrer systématiquement toutes les façons de combiner entre eux un certain nombre d'éléments distincts. Elles correspondent sur le plan mathématique aux opérations de permutations (ordres possibles de n éléments), de combinaisons (groupes possibles de x éléments parmi n) ou d'arrangements (groupes ordonnés de x éléments parmi n) ; ou encore de l'« ensemble des parties » de n éléments, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les combinaisons possibles parmi n éléments (cf. figure 2). Le nombre de solutions dans chaque cas est sous la dépendance d'une formule mathématique spécifique et dépend du nombre d'éléments.

Le fait de combiner des éléments étant déjà en soi une opération, élaborer une méthode permettant de trouver toutes les combinaisons possibles constitue donc une « opération à la seconde puissance » : par exemple, l'opération de permutations revient à une sériation de sériations. De plus, elle nécessite une organisation rigoureuse et une décentration permettant de changer sans cesse de point de vue, afin de n'oublier ni de répéter des solutions (Teschner, 1993). De ce fait, la combinatoire mathématique n'est réellement possible qu'à un niveau formel. Enfin, au stade IVB, le sujet est théoriquement capable de dégager la règle mathématique qui sous-tend un tel système, et donc de déterminer sans réalisation le nombre de possibilités pour n'importe quel nombre d'éléments : il se place alors à un niveau d'abstraction supérieur.

L'usage que les enfants font des opérations combinatoires montre qu'il ne s'agit pas pour eux d'opérations mathématiques particulières mais bien d'une structure logique générale, analogue à celle des groupements multiplicatifs utilisés au stade concret et tendant à la compléter (Inhelder & Piaget, 1970) : ainsi, Longeot (1978) a montré que les

raisonnements combinatoires reposent sur le produit cartésien réversible. Par exemple, un carré cartésien de quatre éléments précède les problèmes d'arrangement de deux éléments dans un ensemble de quatre.

2.3. Combinatoire et logique propositionnelle

Maîtriser la pensée formelle et savoir raisonner nécessite que l'adolescent distingue les trois plans du possible, du nécessaire et du réel. Cependant, raisonner sur des énoncés nécessite aussi de pouvoir regrouper correctement les différentes opérations de classes, de relations, d'affirmations, de négations, de conjonctions, de disjonctions, etc., constitutives du raisonnement hypothético-déductif (Ducret, n.d.).

Pour cela, le sujet a besoin d'une combinatoire qui s'applique à des propositions verbales. En effet, la logique interpropositionnelle s'appuie sur les conditions de vérité ou de fausseté de deux propositions p et q (dans le cas de la logique binaire). Elle nécessite une combinatoire systématique des propositions, qui portera plus précisément sur les quatre associations p et q , non- p et q , p et non- q , non- p et non- q . Cette combinatoire consistera à établir l'ensemble des parties de cet ensemble de quatre éléments, qui forme un réseau : il s'agit des seize opérations de la logique binaire (cf. annexe I).

Les sujets n'ont pas conscience d'utiliser une telle combinatoire, pourtant au stade IVB ces opérations sont acquises de façon systématique, sans formulation explicite de leur expression mathématique, mais avec une exécution comportant une méthode exhaustive.

On observe par ailleurs une étroite corrélation entre la construction des opérations combinatoires et celles des opérations interpropositionnelles, qui apparaissent à peu près simultanément (Inhelder & Piaget, 1970) et fonctionnent de façon complémentaire (Allaire-Dagenais, 1984).

La logique interpropositionnelle va pouvoir s'observer dans des situations expérimentales où le sujet adoptera une démarche hypothético-déductive : par exemple, dans une situation où plusieurs facteurs peuvent jouer un rôle, la seule façon de prouver le rôle d'un facteur est de le faire varier isolément, « toutes choses égales par ailleurs ». Pour cela le sujet doit envisager toutes les combinaisons de facteurs possibles, puis organiser sa preuve de manière à tester isolément chaque facteur. Comme il ne s'agit plus d'un raisonnement concret de proche en proche mais bien de l'élaboration d'un réseau, l'enfant « *[se place] d'emblée simultanément au point de vue de l'ensemble des possibles et à celui des connexions nécessaires* » (Inhelder & Piaget, 1970, p. 18) : ainsi, cet ensemble de toutes les possibilités en tête, l'enfant pourra interpréter ses observations grâce à la coordination du groupe INRC. Il va par exemple passer de la simple correspondance (simple constatation de l'existence conjointe de deux faits) à l'implication réciproque (loi de nécessité : p entraîne q et q entraîne p). Ce raisonnement est complexe, et n'apparaît qu'à la fin du stade formel.

Chapitre II
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

Les données de la littérature mettent en évidence l'importance de l'évaluation des troubles logiques au sein du bilan de la dyscalculie. En effet, ceux-ci caractérisent une forme de dyscalculie dite logique.

Or, comme nous l'avons évoqué précédemment, les épreuves standardisées permettant d'évaluer la pensée de l'adolescent jusqu'aux opérations formelles sont rares, et nous semblent restrictives ou incomplètes pour suffire au bilan logique. On peut alors se demander quelles épreuves pourraient être proposées afin d'évaluer la pensée logique des collégiens.

La pensée combinatoire, qui consiste à envisager tous les possibles et à les systématiser, est un élément clé des opérations formelles. Toutefois, selon Longeot (1978), on peut considérer qu'elle s'élabore progressivement du stade concret au stade formel. Cette structure nous a donc paru un support intéressant pour observer la pensée de l'adolescent.

C'est pourquoi nous avons rassemblé trois situations problèmes mettant en jeu la pensée combinatoire à différents niveaux : une épreuve de produit cartésien, une épreuve de permutations et une épreuve de combinaison et de démarche scientifique. Nous avons souhaité adapter ces épreuves, au niveau du matériel et au niveau des consignes, dans le but de les proposer à des collégiens.

Nous avons également pu remarquer que les stratégies utilisées par le sujet en faisaient sa spécificité, et que leur observation était un aspect important de l'évaluation des troubles logiques. Nous nous sommes alors interrogées plus globalement sur les critères pertinents à observer lors du bilan logico-mathématique.

Afin de répondre à ce questionnement, nous envisagerons la passation de notre protocole auprès de deux populations de collégiens scolarisés de la sixième à la troisième : d'une part une population de sujets présentant des troubles logiques avérés (sujets TL), et d'autre part une population de sujets tout-venants (sujets TV).

Nous confronterons ensuite les différentes données obtenues auprès de ces deux populations lors de nos passations. De plus, à travers les conditions de passation, ainsi que les éléments quantitatifs et qualitatifs recueillis au cours de notre expérimentation, nous chercherons à évaluer la pertinence des différentes épreuves proposées.

Nous nous posons donc les questions suivantes :

- Quelles différences observera-t-on entre les résultats des sujets TL et TV au cours de la passation d'un protocole d'évaluation de la combinatoire?
- Quelles épreuves apparaîtront adaptées ou inadaptées à cette évaluation, et pour quelles raisons ?

Afin de répondre à ces différentes interrogations, nous avons formulé deux hypothèses générales, chacune détaillée par la suite.

Dans un premier temps, nous pensons que les sujets présentant des troubles logiques auront plus de difficultés que les sujets tout-venants à résoudre les différentes épreuves de combinatoire du protocole (hypothèse 1).

- Les sujets TL présenteront des performances moins élevées que les sujets TV.
- Les sujets TL emploieront des stratégies moins élaborées que les sujets TV.
- Des observations qualitatives à partir des corpus recueillis révéleront chez les sujets TL des difficultés particulières : temps de réalisation plus long, explications et justifications plus difficiles à produire, stratégies qualitativement différentes.

Ensuite, nous formulons l'hypothèse que nos épreuves apparaîtront adaptées pour le bilan logico-mathématique des collégiens (hypothèse 2).

- Nos épreuves permettront de distinguer les sujets TL et les sujets TV au niveau des performances.
- Nos épreuves permettront de distinguer les sujets TL et les sujets TV au niveau de l'adaptation des stratégies.
- Nos épreuves permettront de faire ressortir des stratégies préférentielles différentes entre les sujets TL et les sujets TV.
- Nos épreuves présenteront un matériel et des consignes adaptés à une population d'adolescents.

Chapitre III
PARTIE EXPERIMENTALE

I. Population

Notre étude portait sur des adolescents scolarisés de la sixième à la troisième.

Afin de comparer les conduites d'adolescents présentant des troubles de la logique (sujets TL) à celles d'adolescents tout-venants (sujets TV), nous avons choisi d'apparier des sujets ayant des troubles de la logique avec trois témoins, de même sexe, d'âge semblable et de même niveau scolaire. Nous avons souhaité par cet appariement avoir un échantillon plus large et donc plus représentatif de la population des tout-venants.

1. Groupe d'adolescents présentant des troubles de la logique

1.1. Critères d'inclusion

Nos sujets fréquentent des classes de collège. Un bilan orthophonique a révélé chez eux une « dyscalculie logique » ou des « troubles de la logique ». Ils sont actuellement suivis en rééducation logico-mathématique, depuis des durées variables. Nous avons sélectionné des adolescents ayant eu le moins possible de rééducation, notamment en combinatoire, grâce aux informations fournies par leurs orthophonistes.

1.2. Critères d'exclusion

Nous avons choisi d'exclure de notre étude les sujets présentant des troubles associés trop importants (TDA-H non traité, dyslexie massive, dysphasie, trouble sensoriel...), dans le but de limiter au maximum les biais lors des passations.

1.3. Sujets observés

Ces adolescents sont pris en charge dans divers cabinets de la région lyonnaise et ont accepté de participer au protocole suite à la sollicitation de leur orthophoniste.

Nous avons observé huit sujets TL :

- Un garçon et une fille en classe de sixième ;
- Deux filles en classe de cinquième ;
- Deux filles en classe de quatrième ;
- Deux filles en classe de troisième.

2. Groupe témoin d'adolescents tout-venants

Les sujets témoins tout-venants ont été volontaires pour participer au protocole suite à la sollicitation d'un de leurs professeurs ou de leurs parents.

2.1. Critères d'inclusion

Les sujets TV sont appariés à chaque sujet TL selon :

- Le sexe ;
- L'âge : les adolescents TV ont le même âge que le sujet dont ils sont les témoins, plus ou moins trois mois ;
- La classe : afin d'éviter au maximum les biais dus à des apprentissages spécifiques, les sujets TV se situent au même niveau scolaire que le sujet dont ils sont les témoins.

2.2. Critère d'exclusion

Ces adolescents ne doivent pas être ou avoir été suivis en orthophonie pour des troubles de la logique, ne doivent pas présenter de troubles logiques avérés, ni de troubles sensoriels ou cognitifs importants. Nous avons recueilli ces informations au cours d'un entretien préalable à la passation.

2.3. Sujets observés

Les sujets témoins sont scolarisés dans des collèges de l'agglomération lyonnaise, pour leur grande majorité au collège privé Immaculée Conception à Villeurbanne. Nous avons observé vingt-quatre adolescents TV :

- Trois garçons et trois filles en classe de sixième ;
- Six filles en classe de cinquième ;
- Six filles en classe de quatrième ;
- Six filles en classe de troisième.

3. Tableau récapitulatif de l'appariement

Groupe d'appariement	Classe	Initiales	TL ou TV	Age
a	6^{ème}	LM6	TL	11 ans 9 mois
		LMB6	TV	11 ans 9 mois
		AB6f	TV	11 ans 6 mois
		ML6	TV	11 ans 9 mois
b	6^{ème}	SR6	TL	11 ans 3 mois
		TR6	TV	11 ans 3 mois
		NB6	TV	11 ans 3 mois
		AB6m	TV	11 ans 2 mois
c	5^{ème}	AB5	TL	12 ans 5 mois
		MP5	TV	12 ans 6 mois
		MD5	TV	12 ans 4 mois
		SA5	TV	12 ans 6 mois
d	5^{ème}	LB5	TL	13 ans 0 mois
		ED5	TV	12 ans 11 mois
		RV5	TV	13 ans 1 mois
		NC5	TV	12 ans 6 mois
e	4^{ème}	EB4	TL	13 ans 10 mois
		CR4	TV	13 ans 8 mois
		CB4	TV	14 ans 0 mois
		PD4	TV	13 ans 9 mois
f	4^{ème}	LA4	TL	14 ans 0 mois
		JA4	TV	14 ans 0 mois
		CN4	TV	14 ans 0 mois
		KR4	TV	14 ans 3 mois
g	3^{ème}	MB3	TL	15 ans 1 mois
		AG3	TV	14 ans 10 mois
		MG3	TV	14 ans 11 mois
		LB3	TV	15 ans 0 mois
h	3^{ème}	CR3	TL	15 ans 5 mois
		CQ3	TV	15 ans 5 mois
		CP3	TV	15 ans 2 mois
		AK3	TV	15 ans 5 mois

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de la population en fonction des groupes d'appariement

II. Protocole

Notre protocole est constitué d'une épreuve préliminaire suivie de trois autres, fractionnées en sous-épreuves. Celles-ci ont été adaptées à partir d'épreuves existantes.

1. Elaboration du protocole

1.1. Objectifs du protocole

D'après la théorie piagétienne, les adolescents en âge de fréquenter le collège commencent à construire les opérations formelles. Un bilan logico-mathématique destiné à l'adolescent doit par conséquent intégrer des épreuves concrètes et formelles. C'est ce que nous avons choisi de faire dans ce protocole, en proposant à nos sujets des épreuves de difficulté graduelle.

Ensuite, dans un souci d'homogénéité des épreuves, il nous semblait intéressant de pouvoir proposer des épreuves portant sur plusieurs niveaux d'une même structure, puisque que nous ne pouvions pas envisager de chercher à obtenir un profil logique complet de nos sujets dans le cadre de ce mémoire. La pensée combinatoire nous a alors paru un sujet d'étude pertinent, dans la mesure où cette forme de pensée s'élabore progressivement des opérations concrètes aux opérations formelles. Rappelons également son importance au sein de la rééducation logico-mathématique, qui utilise des situations mettant en jeu la combinatoire afin d'accéder à une pensée plus mobile.

1.2. Choix du mode de passation

Nos principes de passation relèvent à la fois des passations standardisées de l'UDN II et des conversations libres de la méthode clinique de Piaget.

La passation du protocole est standardisée, de façon à ce que la passation soit homogène et afin d'obtenir les mêmes éléments d'analyse pour comparer les adolescents entre eux. Ainsi pour chaque sujet nous attendons une réponse à différentes questions formulées autour de la situation problème, mais aussi des explications et des justifications du raisonnement.

Nous restons proches de la méthode clinique de Piaget en laissant l'adolescent libre de poser toutes les questions qu'il désire. Nous l'aidons à exprimer son raisonnement et l'étayons dans sa recherche autant qu'il est nécessaire. L'adolescent peut reprendre son raisonnement et réfléchir à nouveau quand il le souhaite.

1.3. Sources

L'épreuve préliminaire et l'épreuve 1 ont été adaptées à partir d'épreuves destinées aux élèves de primaire de la B-LM cycle II (Métral, 2008). Nous avons effectué quelques modifications de façon à ce que les consignes soient mieux adaptées à des adolescents, notamment en ce qui concerne le niveau de langage employé.

Les épreuves 2 et 3 ont été adaptées à partir d'épreuves conçues et utilisées par Inhelder et Piaget (1970). Les détails concernant l'adaptation de l'épreuve 3 sont visibles en annexe II.

1.4. Elaboration des épreuves du protocole

Après avoir sélectionné et adapté nos épreuves, nous les avons proposées à des collégiens de notre entourage. Ces pré-tests nous ont permis d'affiner les canevas de passation, qui ont été construits selon le même modèle pour toutes les épreuves.

Nous avons rédigé un script de présentation et d'explication de l'épreuve. Nous avons ensuite défini clairement les points que nous souhaitions analyser et nous avons élaboré un certain nombre de questions permettant de les observer.

Nous avons également envisagé les différents comportements, questions ou productions possibles de l'adolescent. Afin d'y répondre et selon la situation, nous avons mis en place des réponses à lui apporter, des procédures d'aide, ou bien des phrases de relance. Ces différents éléments ont été répertoriés dans un cahier de passation, qui permet à l'examineur de suivre aisément le déroulement de l'expérimentation.

Notre protocole comportait à l'origine une première épreuve portant sur le produit cartésien, inspirée de la B-LM cycle II (Métral, 2008) : l'usine de jetons. Cette épreuve concrète demandait à l'adolescent de dessiner tous les jetons qu'il était possible de faire avec quatre formes et trois couleurs. Cependant, les résultats obtenus étant presque parfaitement homogènes (réussite avec réalisation d'un tableau cartésien à double entrée), nous avons choisi de la retirer de notre analyse. Les données nécessaires à la passation et à la cotation de cette épreuve préliminaire sont visibles en annexe III.

2. Modalités de passation

Les passations ont été faites en présence d'un examinateur, aidé d'un observateur supplémentaire pour les sujets TL. L'examineur était situé à côté de l'adolescent, dans l'esprit de la méthode clinique où la passation est apparentée à une « conversation libre », et non à une situation de bilan en face-à-face. Les passations ont eu lieu à différents endroits selon les sujets : dans le cabinet où l'adolescent était suivi, à son domicile, ou à son collège. Le protocole se déroulait au cours d'une unique séance, à l'exception de la passation de MB3 qui a été fractionnée en deux séances (en raison de contraintes temporelles). La passation était enregistrée de façon à ce que l'examineur puisse se concentrer sur le déroulement de la conversation et afin d'obtenir des corpus complets des réponses de l'adolescent pour l'analyse.

Avant de démarrer la passation, nous avons présenté à chacun des participants le sujet de notre mémoire et nous leur avons expliqué quelques éléments sur le déroulement, afin qu'ils ne soient pas décontenancés au cours de la passation (notamment par les demandes d'explications et de justifications).

3. Principes de passation

3.1. Ordre de passation

Usine de jetons	Epreuve préliminaire
Usine de vêtements	Epreuve 1a : 2 critères
	Epreuve 1b : 3 critères
Permutations	Epreuve 2a : 3 éléments
	Epreuve 2b : 4 éléments
	Epreuve 2c : 5 éléments et généralisation
Combinaisons chimiques	Epreuve 3

Tableau 2 : Ordre de passation des épreuves

Les épreuves sont proposées aux sujets toujours dans le même ordre : les épreuves abordant le produit cartésien ont été proposées en premier par ordre croissant de difficulté (épreuve préliminaire puis épreuve 1). Elles sont suivies par l'épreuve 2, qui nécessite un niveau plus élaboré en combinatoire. Le protocole s'achève par l'épreuve 3 qui requiert en plus de la combinatoire un raisonnement en logique des propositions. Au sein des épreuves, les éventuelles sous-épreuves sont systématiquement ordonnées en fonction de leur difficulté. Enfin, l'épreuve 2c est proposée uniquement aux sujets ayant trouvé le bon résultat à l'épreuve 2b. En effet, la découverte du système n'est possible que si l'adolescent a réussi la sous-épreuve précédente.

3.2. Procédures d'étayage supplémentaires

Lorsque l'adolescent ne parvient pas à poursuivre sa recherche, ou qu'il a utilisé un raisonnement qui n'a pu aboutir au bon résultat, nous lui apportons un étayage sous la forme d'une procédure d'aide standardisée. Dans ce cas, on considèrera que l'adolescent a bénéficié d'une « aide », ainsi que dans le cas où les demandes d'explication et de justification de l'examineur l'amènent à reprendre son raisonnement. Les autres situations de reprise spontanée du raisonnement ne représentent pas des situations d'aide. De plus, comme nous l'avons déjà indiqué, l'examineur peut sortir du canevas de passation, afin de lui apporter une aide sous une autre forme si cela s'avère nécessaire.

Au sein de l'épreuve 3, on trouve un item appelé « relance » qui n'est pas considéré comme une « aide ». Celui-ci est présent uniquement dans le but de suggérer à l'adolescent qu'il peut continuer à chercher, il s'agit d'une question lui permettant de réfléchir à un point particulier qu'il n'a pas abordé.

4. Epreuves

Les données complémentaires nécessaires à la passation ou à la cotation des épreuves qui ne sont pas dans le corps de texte sont visibles en annexe VI.

4.1. Matériel

Pour l'ensemble des épreuves, l'adolescent a en permanence à sa disposition un ensemble de feutres, de stylos et de feuilles.

Pour l'épreuve 2, l'adolescent dispose d'une centaine de jetons ronds de quatre couleurs différentes (vert, jaune, rouge, bleu).

Pour l'épreuve 3, nous utilisons un logiciel informatique spécifique élaboré à cet effet qui comporte une version de présentation de l'expérience et une version destinée à la recherche de l'adolescent.

L'examineur a besoin d'un chronomètre, d'un moyen d'enregistrement audio, d'un cahier de passation et d'un cahier de cotation.

4.2. Passation des épreuves

4.2.1. Epreuve 1 : usine de vêtements

a. Circonstances

L'examineur dispose devant l'adolescent une feuille de format A4 qu'il peut utiliser pour les deux parties de l'épreuve.

b. Epreuve 1a

Présentation :

« Voici maintenant une usine qui fabrique des vêtements. Dans cette usine, on peut fabriquer des jupes, des pantalons, des pulls, des robes et des tee-shirts ».

L'examineur écrit ces données sous forme de liste sur une feuille de format A5.

« Les vêtements peuvent être faits avec du tissu rouge, du tissu bleu, du tissu vert ou du tissu orange ».

L'examineur écrit ces données sous forme de liste.

Question :

« Je ne vais pas te demander de dessiner tous les vêtements possibles. Je voudrais simplement savoir combien de vêtements différents cette usine peut fabriquer ? Tu peux faire tout ce que tu veux sur cette feuille pour répondre à la question, sauf dessiner ».

Procédures d'aide :

« Peux-tu trouver un moyen de représenter les vêtements ? ».

« Peux-tu me donner un exemple de vêtement ? ».

Demande d'explication :

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Es-tu sûr de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr ? ».

c. Epreuve 1b

La passation est semblable à celle de l'épreuve 1a. Cependant, l'examineur ajoute un nouveau critère : la taille.

Présentation :

« Nous sommes maintenant dans une autre usine. Dans cette usine, on peut fabriquer des jupes, des pantalons, des pulls, des robes et des tee-shirts. Les vêtements peuvent être faits avec du tissu rouge, du tissu bleu, du tissu vert ou du tissu orange. Ils peuvent être fabriqués en petite taille, en moyenne taille ou en grande taille ».

L'examineur ajoute ces données sous forme de liste.

La suite de la passation est analogue à celle de l'épreuve 1a.

4.2.2. Epreuve 2 : permutations de jetons

a. Circonstances

L'examineur dispose un tas de jetons de couleur sur la table. Il pose une feuille blanche de format A4 de façon horizontale devant l'adolescent.

b. Epreuve 2a

Présentation :

« Regarde, si je prends deux jetons de couleurs différentes et que je les mets en ligne, j'ai deux possibilités pour les mettre : soit rouge-jaune, soit jaune-rouge, tu es d'accord ? Il n'y a pas d'autre possibilité si on les met en ligne ».

L'examineur réalise les deux possibilités, disposées l'une sous l'autre sur la feuille blanche.

« Maintenant, on va prendre une troisième couleur, le vert ».

L'examineur enlève les deux possibilités puis réalise une solution avec trois couleurs sur la feuille blanche.

Question 1 :

« J'aimerais que tu trouves combien il y a de possibilités pour mettre ces trois jetons en ligne. A ton avis, combien il y en a ? J'aimerais que tu essayes de trouver sans manipuler les jetons. »

Si l'adolescent ne sait pas, on passe directement à la question 2.

Demande d'explication :

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Es-tu sûr de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr ? ».

Question 2 :

« Peux-tu me réaliser toutes les possibilités les unes sous les autres avec les jetons ? »

L'examineur invite l'adolescent à réaliser les possibilités sur la feuille blanche.

Procédure d'aide :

« Pourrais-tu trouver une autre solution en changeant encore un peu l'ordre ? ».

Demande d'explication :

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Es-tu sûr de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr ? ».

c. Epreuve 2b

L'examineur enlève les possibilités réalisées par le sujet et reforme le tas de jetons.

« On va maintenant ajouter une quatrième couleur, le bleu ».

L'examineur réalise une possibilité avec quatre couleurs.

Question 1 :

« J'aimerais que tu trouves combien il y a de possibilités pour mettre ces quatre jetons en ligne. A ton avis, combien il y en a ? J'aimerais que tu essayes de trouver sans manipuler les jetons ».

Demande d'explication :

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Es-tu sûr de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr ? ».

Question 2 :

« Peux-tu me réaliser toutes les possibilités les unes sous les autres avec les jetons? ».

L'examineur invite l'adolescent à réaliser les possibilités sur la feuille blanche.

Lorsque le sujet n'a plus de place sur la feuille pour disposer ses jetons, on lui en donne une supplémentaire.

Procédures d'aide :

« Pourrais-tu trouver une autre solution en changeant encore un peu l'ordre ? ».

« Peux-tu trouver un moyen de t'organiser pour ne pas en oublier ? ».

« Pourrais-tu ranger tes solutions pour ne pas en oublier ? ».

Demande d'explication :

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Es-tu sûr de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr ? ».

d. Epreuve 2c

L'examineur enlève les possibilités réalisées par l'adolescent et reforme le tas de jetons.

Question 1 :

« J'aimerais que tu trouves combien il y aurait de possibilités pour mettre cinq jetons de couleurs différentes en ligne. Si tu en as besoin, tu peux écrire sur cette feuille ou utiliser la calculatrice ».

Question 2 :

« J'aimerais que tu trouves une méthode pour savoir combien il y aurait de possibilités pour dix jetons ? ».

Question 3 :

« J'aimerais que tu trouves une méthode pour savoir combien il y aurait de possibilités pour n'importe quel nombre de jetons ? ».

4.2.3. Epreuve 3 : combinaisons chimiques

a. Circonstances

L'examineur dispose l'ordinateur devant l'adolescent et lance la version de présentation du logiciel. Il dispose également d'une feuille à côté de lui.

b. Epreuve 3

Présentation :

« Je vais maintenant te proposer une expérience de chimiste. Seulement, je n'ai pas pu t'amener les produits chimiques car ils sont trop dangereux. Nous allons donc utiliser l'ordinateur pour faire notre expérience. Voici tous les produits que j'ai dans mon laboratoire ».

L'examineur désigne les quatre produits.

« Ils sont tous incolores comme de l'eau, mais en fait ils sont tous différents. En me servant de ces produits, j'ai préparé ces deux récipients, que tu peux voir ici et ici ».

L'examineur désigne les deux récipients.

« J'ai encore un autre produit que j'ai mis dans une pipette. Maintenant je vais en ajouter quelques gouttes dans les récipients que j'ai préparés ».

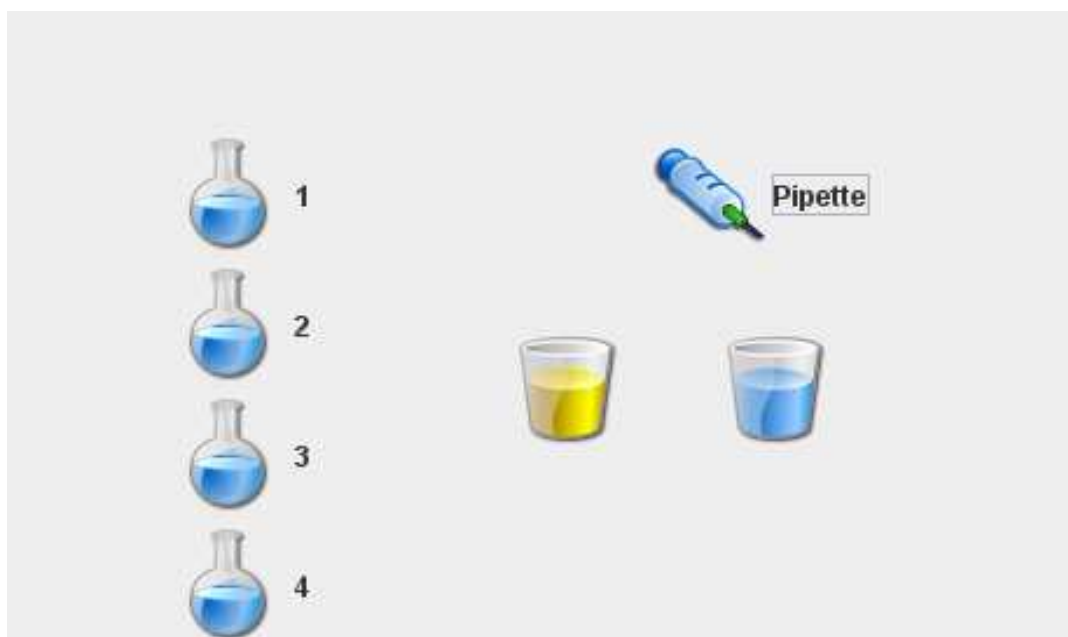


Figure 3 : Version de démonstration du logiciel de l'épreuve 3

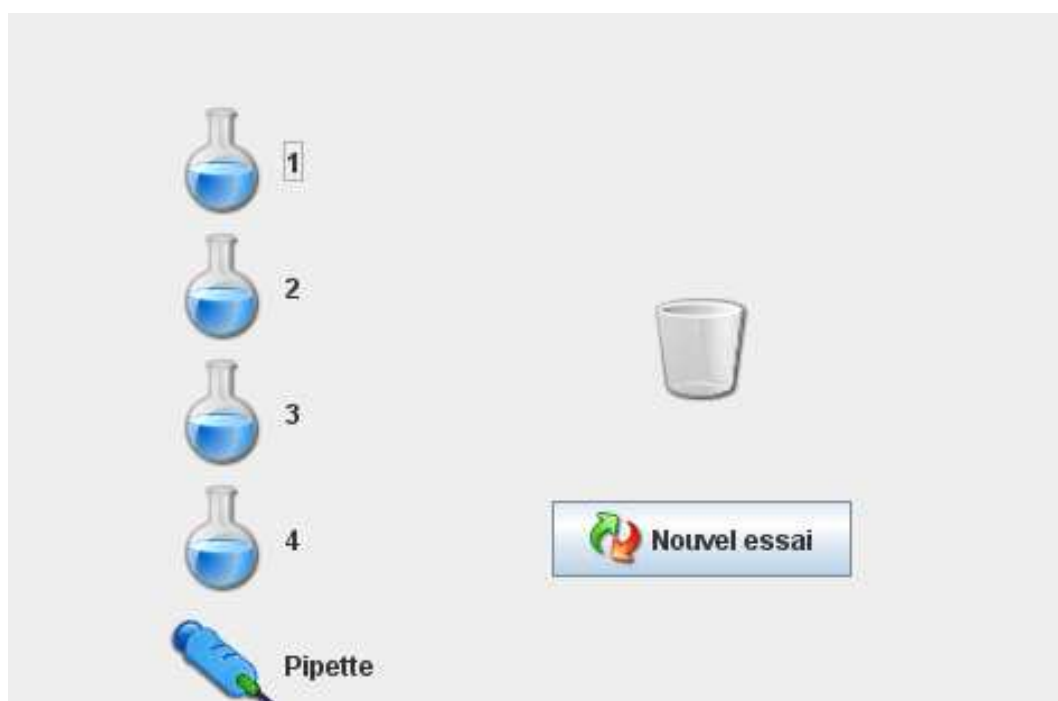


Figure 4 : Version de recherche du logiciel de l'épreuve 3

L'examineur clique sur la pipette située au-dessus du premier récipient.

« Dans le premier, cela devient jaune » (cf. figure 3).

L'examineur clique sur la pipette située au-dessus du deuxième récipient.

« Dans le deuxième, cela reste incolore ».

Question 1 :

« Je voudrais que tu trouves comment on peut faire du jaune, en utilisant les produits du laboratoire ».

L'examineur lance la version de recherche du logiciel (cf. figure 4).

« Maintenant, c'est à ton tour de chercher dans le laboratoire. Tu as à ta disposition les mêmes produits que ceux que j'avais, numérotés de 1 à 4. Tu as aussi la pipette qui contient toujours le même produit que tout à l'heure. Tu vas verser ce que tu veux dans le récipient vide. Pour choisir un produit, tu cliques dessus et l'ordinateur le verse dans le récipient. Pour ajouter les gouttes de la pipette, tu cliques dessus. Lorsque tu veux vider le récipient pour recommencer, tu appuies sur le bouton appelé « nouvel essai ». Tu peux utiliser tout ce que tu veux, tu peux faire tous les mélanges que tu veux, et autant d'essais que tu veux. Si tu as besoin d'écrire, tu peux utiliser cette feuille et ce stylo ».

Question 1 :

« Je voudrais juste que tu puisses me dire à la fin, comment on peut faire du jaune ».

« Est-ce que tu as bien compris ce qu'on cherche ? ».

« Avant de commencer, peux-tu m'expliquer comment tu vas t'y prendre ? ».

Procédure d'aide :

« As-tu d'autres idées de mélange ? ».

Relance :

« Est-ce que tu as terminé, ou est-ce que tu veux continuer à chercher ? ».

Réitération de la question 1 :

« Tu as terminé ? Peux-tu me dire comment on peut faire du jaune ? ».

Question 2 :

« Pourrais-tu me dire à quoi sert chacun des produits ? Quel est le rôle de chacun des produits dans cette expérience ? Tu peux continuer à chercher si tu as besoin ».

Question 3 :

« **Peux-tu me dire d'où vient la couleur jaune ?** ».

5. Compétences évaluées

Toutes les épreuves de ce protocole explorant la combinatoire reposent sur un principe de recherche de tous les possibles, dans des cas où l'ensemble des possibles est limité par une loi.

L'épreuve 1a (usine de vêtements à deux critères) place l'adolescent dans une situation de classes multiplicatives : l'ensemble des solutions est obtenu par produit cartésien. Toutefois celui-ci doit être utilisé de manière abstraite : dans l'idéal, l'adolescent doit trouver le nombre total de possibilités sans passer par une représentation concrète, totale ou partielle.

L'épreuve 1b (usine de vêtements à trois critères) est construite sur le même principe, mais demande un degré d'abstraction supérieur par l'adjonction d'un critère supplémentaire. En effet, on dépasse la situation de carré cartésien, résoluble par un tableau à double entrée.

L'épreuve 2a (permutations de trois jetons) est un problème de combinatoire mathématique : l'adolescent doit découvrir un système permettant de n'oublier aucune des permutations possibles avec trois éléments, d'abord en anticipation puis en réalisation, en représentant les solutions à partir d'un matériel concret.

L'épreuve 2b (permutations de quatre jetons) demande à l'adolescent de découvrir le nombre de solutions possibles pour des permutations de quatre éléments, en anticipation puis en réalisation. A ce stade, pour permettre l'exhaustivité, il devient indispensable de s'organiser pour découvrir un système cohérent.

L'épreuve 2c (permutations de cinq jetons) demande à l'adolescent de formaliser le système des permutations, afin de pouvoir calculer le nombre de solutions possibles pour des permutations de cinq éléments, puis de dix éléments, puis pour n'importe quel nombre d'éléments.

L'épreuve 3 (combinaisons chimiques) met l'adolescent dans une situation expérimentale où il est indispensable de combiner les éléments en présence entre eux (l'ordre n'intervenant pas) pour pouvoir répondre aux questions de l'examineur. Ainsi le sujet doit systématiser les possibles par une combinatoire rigoureuse, puis être capable de combinatoire propositionnelle afin de tirer des déductions de ses observations, c'est-à-dire utiliser un raisonnement hypothético-déductif.

III. Outils d'observation

1. Fiches de renseignements

Pour chaque sujet TL, nous avons recueilli des informations sur les troubles logiques présentés par l'adolescent et la rééducation (durée de la prise en charge, structures abordées).

2. Fiches de cotation

Afin de pouvoir comparer, au moins dans une certaine mesure, les conduites observées aux différentes épreuves, nous avons élaboré un système de cotation unique adapté à toutes les épreuves.

Nos feuilles de cotation comportent ainsi des notations fixes, auxquelles nous avons ajouté des observations plus qualitatives, différant parfois d'une épreuve à l'autre. Un exemple de feuille de cotation est visible en annexe IV.

2.1. Double cotation quantitative des épreuves

Nous avons choisi d'établir un système de double cotation, de façon à pouvoir observer séparément les performances et les stratégies des sujets, et ainsi d'analyser d'un côté l'efficacité des procédures employées et de l'autre la forme des stratégies en elles-mêmes.

2.1.1. Système de cotation

a. Cotation des performances

Pour chaque épreuve, la performance de l'adolescent est notée Echech, Intermédiaire ou Réussite.

La performance est notée E (échec) si :

- La réponse du sujet est inadaptée.
- Le sujet abandonne ou dit qu'il « ne sait pas ».

La performance est notée I (intermédiaire) lors d'une conduite de réussite partielle :

- Le sujet trouve une solution incomplète, car son raisonnement ne prend pas en compte tous les éléments de variation des solutions.
- La solution est inexacte car le raisonnement comporte des lacunes.
- Le sujet parvient au résultat avec une aide de la part de l'examineur ou il reprend son raisonnement lors des questions de l'examineur.

Enfin, la performance est notée R (réussite) si le sujet parvient à la solution sans aide (nous ne tenons pas compte des oublis dus à un problème d'attention, ni des erreurs de calcul).

b. Cotation des stratégies

Pour chaque épreuve, nous avons établi une liste des stratégies qui pourraient être produites à partir : des pré-tests, des éléments de la B-LM cycle II (Métral, 2008) et des conduites décrites par Inhelder et Piaget (1970), ainsi que par Mendelsohn (1981). Puis, nous les avons classées en fonction de leur qualité d'adaptation à la résolution de chaque situation problème.

En fonction des conduites observées et des explications de l'adolescent, nous convenons de la stratégie qu'il a utilisée. Nous prenons en compte la meilleure stratégie adoptée par le sujet dans le cas où il en utilise plusieurs. De même, si l'adolescent décrit un raisonnement autre que celui qu'il a utilisé, nous lui accordons la procédure la plus élaborée des deux.

La stratégie est ensuite cotée grâce à une double notation :

- Elle porte un numéro correspondant à son degré d'élaboration, le numéro 1 correspondant à la stratégie la moins adaptée, selon les listes que nous avons établies.
- Elle est définie comme NA (non-adaptée), AP (approximative) ou AD (adaptée) selon son niveau d'adaptation :
 - Une stratégie NA correspond à une démarche de recherche au hasard. Il n'y a pas de lien évident entre les solutions, et les possibles se limitent aux solutions que le sujet parvient à réaliser. Le résultat ne peut être trouvé que par hasard.
 - Une stratégie AP fait apparaître des liens entre les solutions : chaque possible réalisé ouvre un champ de solutions. Toutefois, le résultat ne peut être trouvé qu'au terme d'une démarche d'exploration et de vérification systématique, qui est fastidieuse car le sujet fonctionne toujours de proche en proche, et ajoute les solutions entre elles pour parvenir à l'ensemble des possibles. Le manque d'une démarche généralisée explique de fréquents oublis ou redondances.
 - Une stratégie AD montre que le sujet est capable d'envisager l'ensemble des solutions comme un réseau : il se détache du réel pour se positionner dans le champ des possibles. Le résultat est trouvé à l'aide d'une démarche généralisée à l'ensemble des possibles. Cette démarche permet fiabilité et efficacité.

2.1.2. Description des conduites attendues à chaque épreuve

Les descriptions ci-dessous sont synthétiques, elles sont présentées plus en détail à l'annexe V.

Nous avons délibérément choisi de ne pas coter les stratégies à l'épreuve 2c (permutations de cinq jetons et généralisation à n jetons) : en effet, cette épreuve n'a été proposée qu'à un petit nombre de sujets (ceux qui avaient réussi les permutations de quatre jetons) et aucun des adolescents testés n'est parvenu au résultat. Nous avons donc opté pour une discussion purement qualitative.

a. Epreuve 1a (usine de vêtements à deux critères)

E (échec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (intermédiaire)	Arrive à la solution avec aide ; reprend son raisonnement et parvient à la solution ; trouve une partie seulement des solutions.
R (réussite)	Utilise une procédure menant à la solution (même si erreur de calcul, par exemple $4 \times 5 = 25$).

Tableau 3 : Performances à l'épreuve 1a

NA 1	N'utilise pas de stratégie évidente, donne un nombre au hasard.
AP 2	Ecriture figurative : écrit ou dessine toutes les solutions.
AD 3	Stratégie additive ou multiplicative avec support concret : écrit le nombre d'items pour chaque vêtement ou chaque couleur puis additionne ou multiplie ; trouve le nombre pour un vêtement ou une couleur et généralise immédiatement (« c'est la même chose pour les autres »).
AD 4	Stratégie additive ou multiplicative de type formel : effectue directement l'opération sans écriture préalable (par exemple $5+5+5+5=20$ ou $4 \times 5=20$).

Tableau 4 : Stratégies à l'épreuve 1a

b. Epreuve 1b (usine de vêtements à trois critères)

E (échec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (intermédiaire)	Arrive à la solution avec aide ; reprend son raisonnement et parvient à la solution ; trouve une partie seulement des solutions.
R (réussite)	Utilise une procédure menant à la solution (même si erreur de calcul, par exemple $3 \times 20 = 50$).

Tableau 5 : Performances à l'épreuve 1b

NA 1	N'utilise pas de stratégie évidente, donne un nombre au hasard.
AP 2	Ecriture figurative : écrit ou dessine toutes les solutions.
AP 3	Stratégie additive avec 2 critères fixes et support concret : écrit le nombre pour chaque sous-bloc : 3 robes rouges, 3 robes bleues etc.
AD 4	Stratégie additive ou multiplicative avec 1 critère fixe et support concret : trouve pour un bloc et écrit ensuite 12 robes, 12 pulls etc. ou encore 15 verts, 15 bleus etc. ; ou bien il écrit le nombre de vêtements pour un bloc et généralise immédiatement (« c'est la même chose pour les autres »).
AD 5	Stratégie additive ou multiplicative de type formel : effectue directement la multiplication ou l'addition, éventuellement en ré-utilisant le résultat trouvé au subtest précédent, sans production écrite préalable (par exemple $3 \times 20 = 60$ ou $12 + 12 + 12 + 12 + 12 = 60$).

Tableau 6 : Stratégies à l'épreuve 1b

c. Epreuve 2a (permutations de trois jetons)

E (échec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (intermédiaire)	Arrive à la solution avec aide ; reprend son raisonnement et parvient à la solution ; trouve une partie seulement des solutions.
R (réussite)	Toutes les solutions sont trouvées.

Tableau 7 : Performances à l'épreuve 2a

NA 1	Ne sait pas comment faire.
AP 2	Tâtonnements empiriques : ne forme pas de lien entre les solutions.
AD 3	Stratégie par algorithme : exprime des liens entre les solutions.

Tableau 8 : Stratégies à l'épreuve 2a

d. Epreuve 2b (permutations de quatre jetons)

E (échec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (intermédiaire)	Arrive à la solution avec aide ; reprend son raisonnement et parvient à la solution ; trouve une partie seulement des solutions.
R (réussite)	Toutes les solutions sont trouvées.

Tableau 9 : Performances à l'épreuve 2b

NA 1	Tâtonnements empiriques : ne forme pas de lien entre les solutions.
AP 2	Procédures algorithmiques (dénombrement simple des solutions).
AP 3	Procédures complexes (algorithme multiplicatif).
AD 4	Procédure à plan unique.
AD 5	Métaprocedure (raisonnement formel).

Tableau 10 : Stratégies à l'épreuve 2b

e. Epreuve 3 (combinaisons chimiques)

E (échec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (intermédiaire)	Trouve une seule des deux solutions ; trouve avec aide.
R (réussite)	Trouve les deux solutions.

Tableau 11 : Performances à l'épreuve 3

NA 1	Tâtonnements empiriques : essaye quelques mélanges au hasard.
AP 2	Associe le produit de la pipette avec tous les produits un par un, ou les 4 à la fois. N'effectue pas de combinaisons entre les produits.
AP 3	Après quelques tâtonnements, commence à combiner des produits 2 à 2 ou 3 à 3.
AD 4	Phase d'organisation : commence à systématiser tous les possibles.
AD 5	Palier d'équilibre : systématiser les combinaisons.

Tableau 12 : Stratégies à l'épreuve 3

2.2. Autres notations

2.2.1. Durée de passation

Pour chaque épreuve, nous chronométrons la durée de la recherche, sans tenir compte de la durée des explications et justifications. De plus, nous notons la durée de la passation complète du protocole.

2.2.2. Réponses aux questions

Pour les épreuves 1 et 2, nous notons la réponse aux questions d'explication du raisonnement et de justification.

Nous avons jugé de la qualité des réponses données suivant différents niveaux prédéfinis, que nous avons détaillés ci-dessous.

« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

- Le sujet ne peut évoquer ni son action, ni son raisonnement.
- Le sujet décrit uniquement son action.
- Le sujet a des difficultés à expliquer son raisonnement.
- Le sujet est capable d'expliquer son raisonnement.

« Es-tu sûr(e) de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr(e) ? ».

- Le sujet n'est pas sûr de sa réponse.
- Le sujet est sûr de sa réponse, mais ne ressent pas le besoin d'expliquer.
- Le sujet est sûr de sa réponse, mais ne voit pas comment expliquer.
- Le sujet est sûr de sa réponse, l'argumente, mais son explication est maladroite.
- Le sujet propose une démonstration pertinente.

Pour l'épreuve 3, deux questions spécifiques sont posées, qui ont trait à la logique interpropositionnelle. Notre étude ne portant pas sur ce type de raisonnement, nous avons choisi de ne pas coter les réponses données. Elles sont toutefois classées selon leur degré d'élaboration :

« Peux-tu me dire quel est le rôle de chacun des produits ? ».

- Le sujet ne sait pas.
- Le sujet donne uniquement le rôle des réactifs.
- Le sujet dégage le rôle du produit 2 ou du produit 4.
- Le sujet dégage le rôle du produit 2 (neutre) et du produit 4 (antagoniste).

« Finalement, d'où vient la couleur jaune ? ».

- Le sujet ne sait pas.
- Le sujet donne une explication relevant d'une causalité phénoméniste ou répond au hasard.
- Le sujet localise la couleur dans un unique produit.
- Le sujet comprend que la couleur provient d'un mélange.
- Le sujet comprend la nécessité de la présence des produits 1 et 3 additionnés au produit de la pipette.

2.2.3. Corpus libre

D'une manière générale, nous notons toutes les productions orales et écrites de l'adolescent. Ceci nous permet de repérer les comportements d'adaptation de stratégies, d'utilisation de l'aide proposée, et de mauvaise compréhension des consignes, dans le but de recueillir des données qualitatives sur les différentes conduites de nos sujets.

Chapitre IV
PRESENTATION DES RESULTATS

I. Préalable

1. Outils statistiques

Nos données brutes ont été soumises à un traitement statistique : le test du Khi2 de Pearson a été utilisé afin de comparer la répartition entre les différents résultats des deux groupes d'adolescents, en termes de proportions. Dans les cas où seuls deux types de résultats étaient observés, c'est le test exact de Fisher qui a été utilisé : ce calcul équivaut à celui du Khi2 lorsque le tableau se présente en 2x2 modalités. Les tableaux complets de résultats bruts sont visibles en annexe VII.

Ces tests statistiques nous fournissent un taux de signification, appelé p, qui exprime le risque d'erreur en affirmant l'hypothèse H1 : « la différence observée entre les résultats des deux populations est significative ». L'hypothèse alternative est H0 : « la différence n'est pas significative » :

- Si $p < 0,05$ le risque d'erreur est inférieur à 5%, et H1 est vérifiée : la différence est considérée comme significative. On rejette H0. Si $p < 0,01$, la différence est très significative (risque d'erreur inférieur à 1%).
- Si $p > 0,05$, H1 ne peut être validée : la différence ne peut être considérée comme significative. Il y a non-rejet de H0.

2. Explications nécessaires à la lecture des résultats

Précisons que l'analyse statistique de nos résultats n'a montré aucun effet de niveau scolaire, ni au niveau des performances, ni au niveau des stratégies chez les sujets TV. En effet, le taux de significativité concernant les différences inter-niveaux varie de $p=0,187$ à $p=0,928$, et nous n'observons sur notre échantillon aucune tendance en faveur de meilleurs résultats chez les sujets les plus âgés. En observant les résultats des sujets TL, nous n'avons pas non plus observé une tendance de cette sorte. C'est pourquoi nous n'avons pas réalisé d'étude inter-niveaux plus poussée. De plus, nous avons généralement considéré dans l'analyse qui suit l'ensemble de la population TV, toutes classes confondues, comparé à l'ensemble de la population TL toutes classes confondues. Dans un tel cas, nous parlerons d'analyse sur la population générale.

Nous avons choisi de présenter les résultats en fonction des éléments de réponse qu'ils apportaient à chacune de nos différentes hypothèses. La partie II recueille les différences qui peuvent être mises en avant entre la population TL et la population TV sur l'ensemble du protocole, tandis que la partie III expose les différentes observations recueillies lors de la passation de chacune des épreuves.

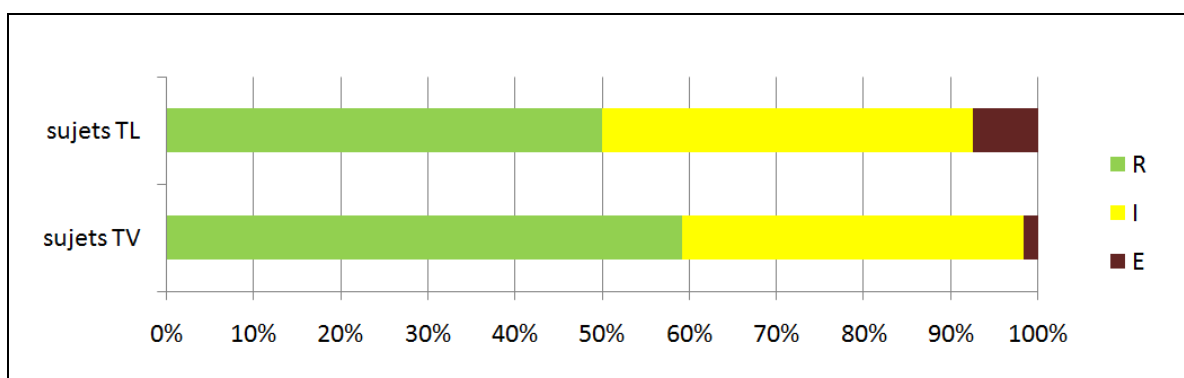


Figure 5 : Comparaison de la part de performances cotées Réussites (R), Intermédiaires (I) et Echecs (E) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole

II. Comparaison des données concernant les deux populations sur l'ensemble du protocole

1. Comparaison des performances

1.1. Au sein de la population générale

Les données suivantes n'ont pas pu être soumises à un traitement statistique car leur forme ne le permettait pas. Nous avons ici regroupé, pour chacune des populations, le nombre total de performances : réussites, intermédiaires et échecs, aux épreuves 1A, 1b, 2a, 2b et 3 ; les épreuves préliminaires et 2c n'ayant pas donné lieu à une cotation.

	Nombre de sujets	Nombre total de résultats	Nombre total d'Échecs sur les 5 épreuves	Nombre total d'Intermédiaires sur les 5 épreuves	Nombre total de Réussites sur les 5 épreuves
Population TL	8	40	3	17	20
Population TV	24	120	2	47	71

Tableau 13 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole

Nous pouvons observer sur la figure 5 une légère différence des performances en faveur des sujets TV. Ceux-ci présentent une part plus importante de réussites (59,2% contre 50% pour les sujets TL), une part plutôt similaire de réussites intermédiaires (39,2% contre 42,5%), ainsi qu'une part moins importante d'échecs par rapport à la population TL (1,7% contre 7,5%). La proportion d'échecs reste mineure au sein des deux populations.

1.2. Au sein des groupes d'appariement

Nous étudions ici les performances des sujets TL en comparaison à leurs témoins, au sein des groupes d'appariement.

La comparaison des performances des sujets TL par rapport à leur témoin ne permet pas de repérer de tendance homogène sur l'ensemble du protocole. Au sein de quatre des huit groupes d'appariement, le sujet TL a un niveau de performance strictement inférieur, ou bien inférieur ou égal à ses témoins. Dans les quatre autres groupes, le sujet TL présente un niveau de performance comparable ou supérieur à celui de ses témoins.

Lorsqu'on observe épreuve par épreuve, le niveau de performance du sujet TL comparativement à ses témoins, on observe une importante hétérogénéité. Aucune des épreuves ne semble révéler des régularités quant au niveau de performance du sujet TL par rapport à ses témoins.

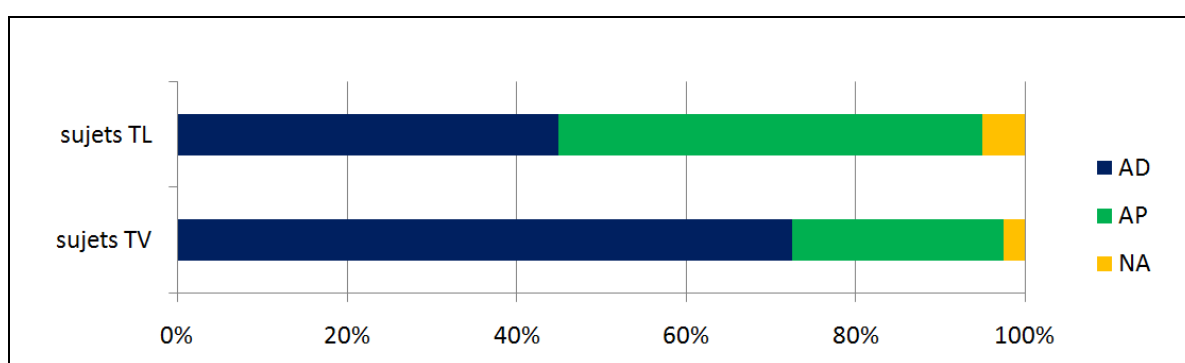


Figure 6 : Comparaison de la part de stratégies Adaptées (AD), Approximatives (AP) et Non-adaptées (NA) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole

2. Comparaison de l'adaptation des stratégies utilisées

2.1. Au sein de la population générale

Les données suivantes n'ont pas pu être soumises à un traitement statistique car leur forme ne le permettait pas. Nous avons ici regroupé, pour chacune des populations, le nombre total de conduites adaptées, approximatives et non-adaptées, aux épreuves 1a, 1b, 2a, 2b et 3.

	Nombre de sujets	Nombre total de résultats	Nombre total de conduites Non-Adaptées sur les 5 épreuves	Nombre total de conduites Approximatives sur les 5 épreuves	Nombre total de conduites Adaptées sur les 5 épreuves
Population TL	8	40	2	20	18
Population TV	24	120	3	30	87

Tableau 14 : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole

D'après la figure 6, il apparaît nettement que les sujets TV utilisent des stratégies plus adaptées que les sujets TL. Nous pouvons voir que les sujets TL utilisent légèrement plus de conduites approximatives que de conduites adaptées (employées à moins de 50%), tandis que la part de conduites adaptées chez les TV est bien supérieure à celle des conduites approximatives. La proportion de conduites non-adaptées reste marginale dans les deux populations.

2.2. Au sein des groupes d'appariement.

La comparaison de l'adaptation des stratégies permet de relever que les sujets TL ont très souvent des stratégies moins adaptées que leurs sujets témoins, et permet de confirmer l'observation faite au niveau de la population générale. Dans cinq des groupes, les sujets TL utilisent des stratégies moins adaptées que leurs sujets témoins. Seuls six témoins (parmi les neuf) répartis sur les trois autres groupes d'appariement (groupes D, F et H) sont de niveau équivalent ou inférieur à celui du sujet TL.

3. Résultats qualitatifs sur l'ensemble du protocole

3.1. Stratégies préférentielles

Les stratégies préférentielles des sujets TV sont plus élaborées que celles des TL aux épreuves 1 et 3, comme nous le verrons dans la partie III.

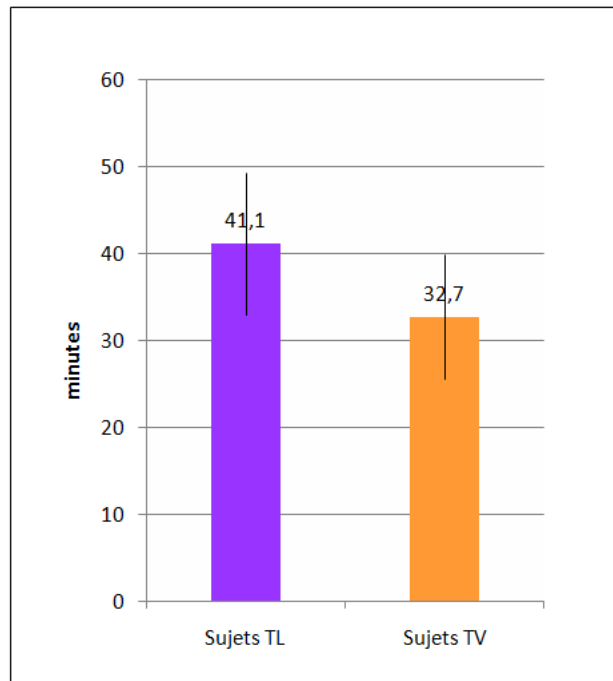


Figure 7 : Comparaison de la durée moyenne de passation totale, en minutes, pour les deux populations

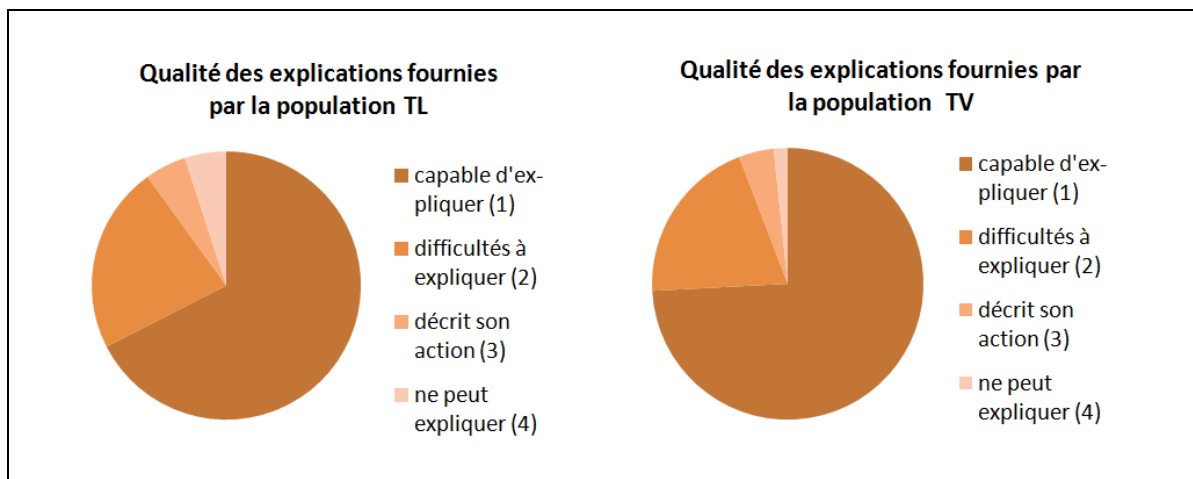


Figure 8 : Comparaison de la qualité des explications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole

3.1.1. Temps de réalisation

Nous avons chronométré pour chaque sujet la durée totale de la passation (consignes comprises), ainsi que la durée de recherche pour chaque épreuve (explications et justifications non-comprises). Les résultats obtenus sont visibles dans le tableau ci-dessous.

	Durée totale passation (en min)	Durée E préliminaire (en s)	Durée E1a (en s)	Durée E1b (en s)	Durée E2a (en s)	Durée E2b (en s)	Durée E3 (en s)
Moy TL	41	119	171	343	103	447	216
ET TL	8	76	194	188	37	231	225
Moy TV	33	132	64	61	70	282	226
ET TV	7	174	67	59	57	146	110

Tableau 15 : Moyennes et écarts-types des durées de passation pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets)

La durée moyenne de la passation est significativement plus élevée pour les sujets TL avec un taux de significativité $p=0,024$ (cf. figure 7). Lorsque nous considérons les épreuves individuellement (cf. tableau 15), nous pouvons voir que la durée moyenne est également supérieure chez les sujets TV aux épreuves 1a, 1b, 2a, et 2b. Toutefois la variabilité inter-individuelle (représentée ici par l'écart-type ET) est très importante.

3.1.2. Explications et justifications

a. Explications

Les données suivantes n'ont pas pu être soumises à un traitement statistique car leur forme ne le permettait pas.

	Nombre de sujets	Nombre total d'explications fournies	Capable d'expliquer	Difficultés à expliquer	Décrit son action	Ne peut expliquer
Population TL	8	40	27	9	2	2
Population TV	24	120	89	24	5	2

Tableau 16 : Qualité des explications fournies par la population TL et par la population TV sur l'ensemble du protocole

D'après la figure 8, nous pouvons dire que la qualité des explications des deux populations est proche. Dans l'ensemble, nous pouvons constater que la plupart des sujets ont été capables d'expliquer leur raisonnement. Cependant, les sujets TV ont plus souvent fourni cette explication de type 1 (74,2% contre 67,5% pour les sujets TL, cf. figure 8), sans que la différence observée ne soit très importante.

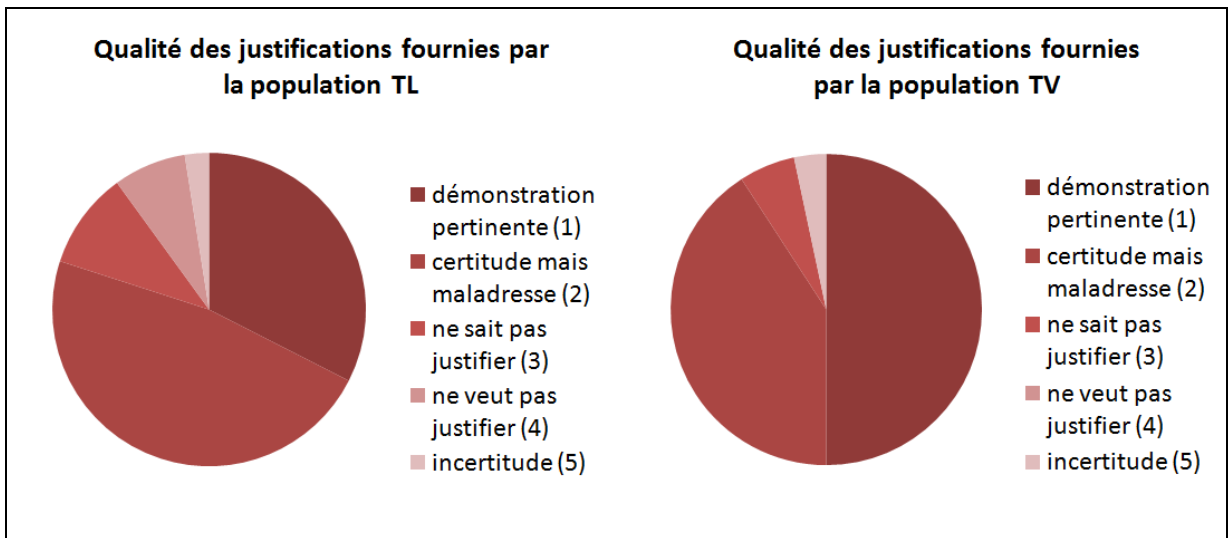


Figure 9 : Comparaison de la qualité des justifications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole

b. Justifications

	Nombre de sujets	Nombre total de justifications fournies	Démonstration pertinente	Certitude mais explication maladroite	Ne sait pas comment justifier	Ne veut pas justifier	Incertitude
Population TL	8	40	13	19	4	3	1
Population TV	24	120	60	49	7	0	4

Tableau 17 : Qualité des justifications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole

Nous pouvons constater sur la figure 9 une plus grande part de démonstrations pertinentes chez les sujets TV (50%) que chez les sujets TL (32,5%). Nous constatons aussi que certains sujets TL n'ont parfois pas voulu se justifier (7,5% des réponses), alors que ce comportement est absent chez les sujets TV.

3.1.3. Comportements spécifiques observés

Nous allons décrire ici des comportements spécifiques analysés au niveau qualitatif qui ont retenu notre attention. Nous avons observé différentes conduites chez les sujets TL qui nous ont paru servir à les différencier des sujets TV. Les adolescents sont désignés par leurs initiales suivies du chiffre représentant leur niveau scolaire.

L'utilisation de la stratégie figurative à l'épreuve 1, comparativement entre les deux populations, a retenu notre attention :

- Trois des sujets TL ont utilisé cette stratégie considérée comme approximative. Ils l'ont utilisée soit aux deux épreuves 1a et 1b, soit uniquement à l'épreuve 1b, qui est plus complexe. Aucun des sujets TL n'a abandonné cette stratégie en cours d'utilisation : ils ont écrit tous les vêtements qu'il est possible de réaliser dans les différentes usines, ce qui leur a demandé beaucoup de temps et d'énergie. Certains sujets TL ont donc trouvé cette tâche pénible, comme par exemple l'adolescente AB5, qui dit avoir préféré utiliser cette stratégie quand même pour être sûre de ne pas se tromper.
- L'utilisation de cette stratégie est très différente chez les sujets TV : certains sujets TV s'en sont servis, puis l'ont vite délaissée pour une stratégie plus élaborée en généralisant leurs résultats, soit au cours de l'épreuve, soit à l'épreuve suivante lorsque la tâche est devenue plus complexe (1b).

Dans cette même épreuve, trois de nos sujets TL ont adopté des stratégies dont ils semblaient sûrs, mais dont nous n'avons pas saisi la logique. Lorsqu'on les a questionnées sur leur raisonnement, ces trois adolescentes ont fourni des explications instables, comportant de nombreuses lacunes, mais n'ont pas cherché à reprendre leur recherche selon une autre démarche, à la différence des sujets TV :

- LM6 utilise à l'épreuve 1a une stratégie additive entre blocs qui lui permet de trouver le résultat. Par contre, pour l'épreuve 1b, elle réalise des blocs similaires sur le modèle : « *4 pulls+4 pulls verts+4 petits pulls verts=12 ; 4 robes+4 robes vertes+ 4 petites robes vertes=12* », etc. Chacun de ses blocs mentionne une unique couleur et comporte une ligne par type de vêtement. Elle s'arrête fréquemment pour réfléchir. A la fin, elle dénombre le nombre de lignes de la liste que nous avons rédigée, et multiplie le résultat qu'elle a trouvé pour chaque bloc par ce nombre. Elle obtient six cents solutions. Malgré nos questions, LM6 ne peut nous expliquer ses calculs. Toutefois, elle se dit sûre d'avoir trouvé tous les possibles.
- CR3 nous donne immédiatement le résultat à l'épreuve 1a, en faisant spontanément la multiplication 5×4 . Néanmoins, même si elle se dit sûre d'avoir trouvé le bon résultat, elle ne peut nous expliquer à quoi correspond sa multiplication. A l'épreuve 1b, elle utilise une stratégie mi-additive, mi-multiplicative sans support concret, en tentant d'additionner entre eux les critères. Pendant son explication, elle reprend plusieurs fois son raisonnement. Finalement, elle additionne les « *vêtements de différentes couleurs* » (vingt vêtements), avec le nombre de vêtements additionné au nombre de couleurs, qu'elle multiplie par le nombre de tailles. Elle effectue donc les opérations suivantes : $20+(9 \times 3)=20+18=38$, en commettant une erreur de calcul. Elle admet que dans son raisonnement, les « *vingt vêtements de différentes couleurs* » n'ont pas de taille spécifique, mais elle se dit sûre d'avoir trouvé tous les possibles.
- A l'épreuve 1a, LB5 écrit tous les vêtements par bloc de couleur, en utilisant un feutre de la couleur correspondante (par exemple, « *1 jupe rouge* » écrit en rouge) et trouve la solution. Puis, à l'épreuve 1b, elle réalise quatre blocs sur le modèle de l'E1a, mais elle apparie chaque taille avec une couleur : elle décline les vêtements rouges en « petit », les bleus en « moyen » et les verts en « grand ». Pour le dernier bloc, elle écrit en orange « *1 jupe petite rouge, 1 pantalon moyen bleu, 1 pull grand vert* », puis elle veut trouver une « robe » mais n'y parvient pas et s'arrête. Elle explique qu'elle n'a pas pu faire tous les vêtements car il n'y avait pas assez de couleurs. Lorsqu'on lui montre que les items de son dernier bloc sont des doubles, elle les supprime et ajoute qu'« *il y en a cinq qu'on ne peut pas faire* », et nous fournit des explications confuses. Elle assure néanmoins avoir réalisé « *tous ceux qu'on pouvait faire* ».
- Contrairement à ces sujets, les sujets TV qui se sont trouvés en difficulté pour expliquer leur raisonnement ont toujours, soit admis qu'ils ne savaient pas expliquer, soit repris leur recherche en modifiant leur démarche.

Enfin, SR6 est un sujet TL qui présente un profil particulier et peu observé. Il obtient un nombre élevé de réussites (quatre sur cinq) en utilisant des stratégies peu élaborées : il utilise une stratégie non adaptée, trois stratégies approximatives et une seule stratégie adaptée. De plus, la durée de passation totale est très supérieure à celle de l'ensemble de la population (cinquante-quatre minutes contre trente-trois minutes chez les TV et quarante-et-une minutes chez les sujets TL en moyenne).

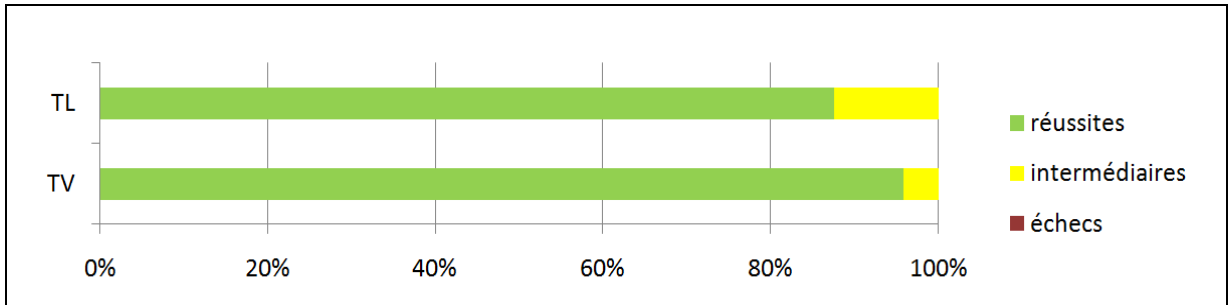


Figure 10 : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1a

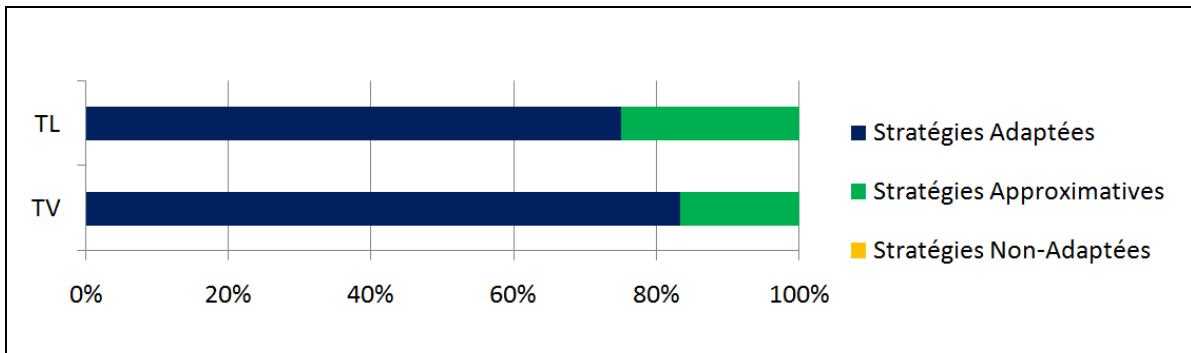


Figure 11 : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1a

III. Présentation des données recueillies à chaque épreuve

1. Epreuve 1a : Usine de vêtements à 2 critères

1.1. Performances

	Nombre de sujets	Nombre d'Échecs	Nombre d'Intermédiaires	Nombre de Réussites
Population TL	8	0	1	7
Population TV	24	0	1	23

Tableau 18 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a

Les sujets TV présentent un taux de réussite un peu supérieur (cf. figure 10), mais la différence observée n'est pas significative ($p=0,444$) : les performances des deux populations sont donc comparables. Cette épreuve n'a donné lieu à aucun échec, et la quasi-totalité des sujets a été en mesure de trouver le résultat (vingt vêtements différents possibles).

1.2. Adaptation des stratégies

	Nombre de sujets	Nombre de conduites Non-Adaptées	Nombre de conduites Approximatives	Nombre de conduites Adaptées
Population TL	8	0	2	6
Population TV	24	0	4	20

Tableau 19 : Répartition des stratégies cotées Adaptées (AD), Approximatives (AP) et Non-Adaptées (NA) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a

L'ensemble des sujets a utilisé des stratégies adaptées ou approximatives. La légère différence constatée en faveur des sujets TV n'est pas significative ($p=0,625$). On peut donc dire que l'adaptation des stratégies à cette épreuve est comparable pour les deux populations (cf. figure 11).

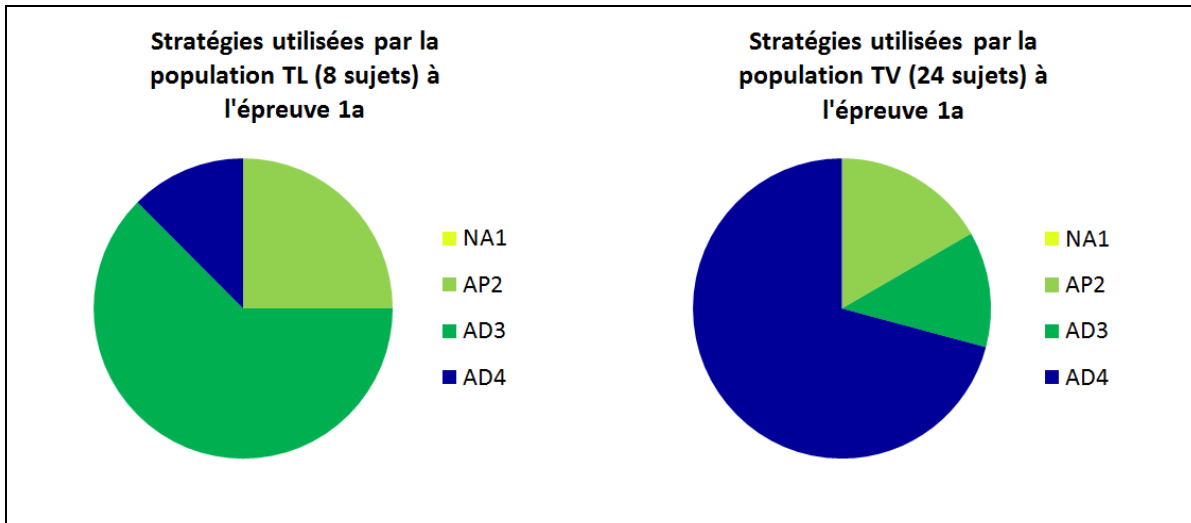


Figure 12 : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL et par la population TV à l'épreuve 1a

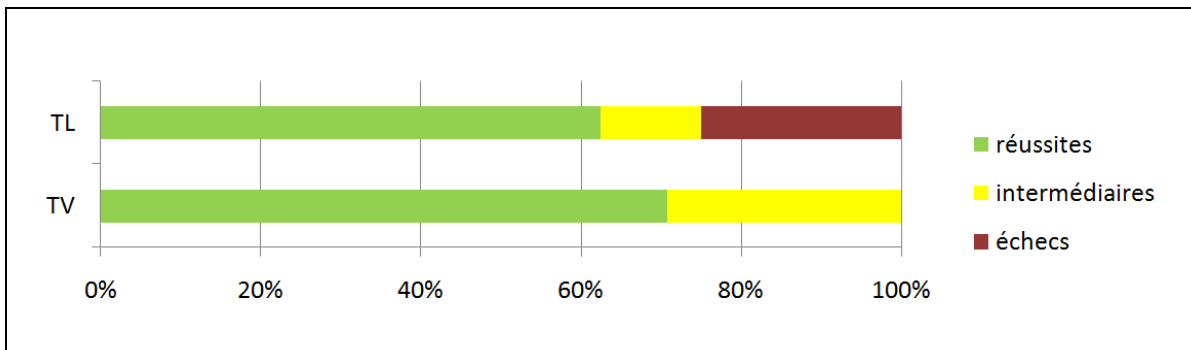


Figure 13 : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1b

1.3. Stratégies préférentielles

	Nombre de sujets	Stratégie NA1	Stratégie AP2	Stratégie AD3	Stratégie AD4
Population TL	8	0	2	5	1
Population TV	24	0	4	3	17

Tableau 20 : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a

Nous pouvons constater sur la figure 12 que les sujets TL utilisent préférentiellement la stratégie AD3 (stratégie additive ou multiplicative avec utilisation d'un support concret), tandis que les sujets TV utilisent majoritairement la stratégie AD4 (stratégie additive ou multiplicative de type formel). Cette utilisation préférentielle est très significative avec un taux de significativité $p=0,007$.

2. Epreuve 1b : usine de vêtements à 3 critères

2.1. Performances

	Nombre de sujets	Nombre d'Échecs	Nombre d'Intermédiaires	Nombre de Réussites
Population TL	8	2	1	5
Population TV	24	0	7	17

Tableau 21 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b

Si nous pouvons observer un taux de réussite assez proche entre les deux populations (62,5% pour les sujets TL contre 70,8% pour les TV), 25% des sujets TL (deux sujets) échouent à cette épreuve, tandis qu'aucun des sujets TV n'est en échec. La différence de performance entre les deux populations est significative, avec un taux de significativité $p=0,035$ (cf. figure 13).

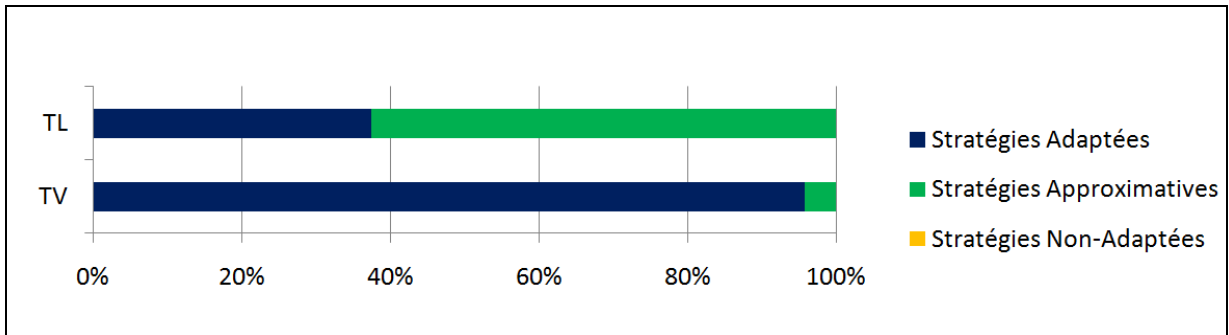


Figure 14 : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1b

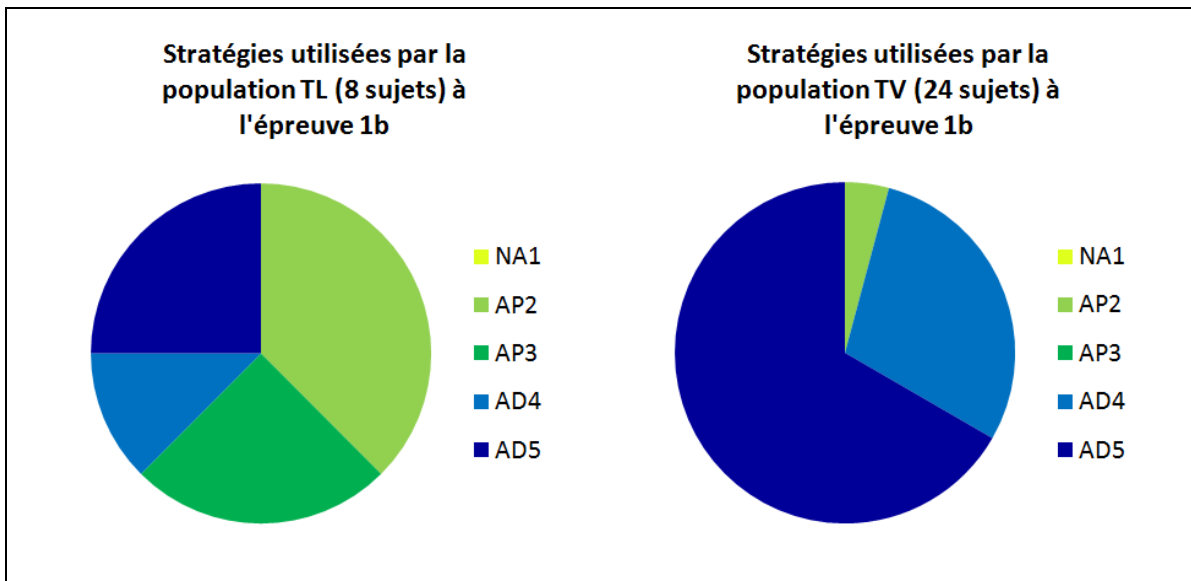


Figure 15 : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL et par la population TV à l'épreuve 1b

2.2. Adaptation des stratégies

	Nombre de sujets	Nombre de conduites Non-Adaptées	Nombre de conduites Approximatives	Nombre de conduites Adaptées
Population TL	8	0	5	3
Population TV	24	0	1	23

Tableau 22 : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b

Nous constatons à l'épreuve 1b une différence marquée entre les sujets TL et TV au niveau de l'adaptation des stratégies (cf. figure 14) : alors que la majorité des TL (62,5%) utilise une stratégie approximative, la quasi-totalité des TV (95,8%) utilise une stratégie adaptée. La différence observée entre les deux populations est très significative ($p=0,002$).

2.3. Stratégies préférentielles

	Nombre de sujets	Stratégie NA1	Stratégie AP2	Stratégie AP3	Stratégie AD4	Stratégie AD5
Population TL	8	0	3	2	1	2
Population TV	24	0	1	0	7	16

Tableau 23 : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b

Comme le laissait deviner la différence observée au niveau de l'adaptation des stratégies, les stratégies utilisées par les deux populations se distinguent nettement (cf. figure 15) : les sujets TL utilisent préférentiellement la stratégie AP2 (écriture figurative), tandis que les sujets TV utilisent majoritairement (66,7%) la stratégie AD5 (stratégie additive ou multiplicative sans support concret). Cette différence est très significative, avec un taux $p=0,003$. On constate également que les sujets TL utilisent la stratégie AP3 (stratégie additive avec 2 critères fixes), stratégie qui n'est jamais représentée au sein de la population TV.

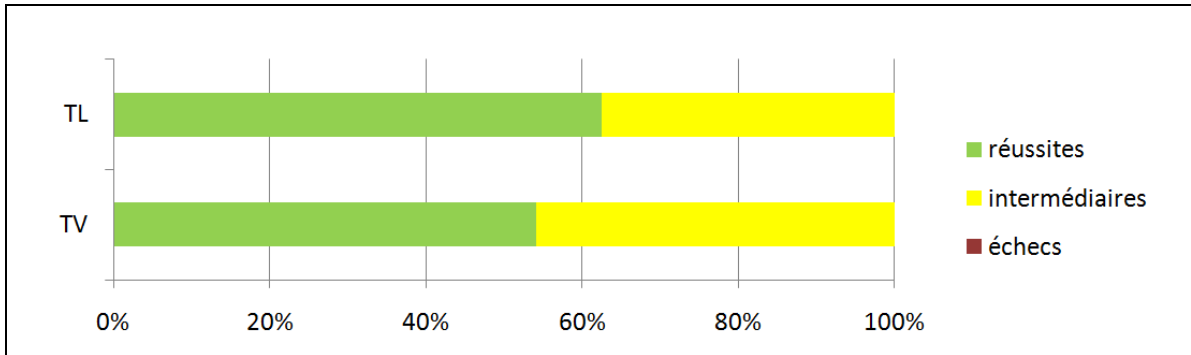


Figure 16 : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2a

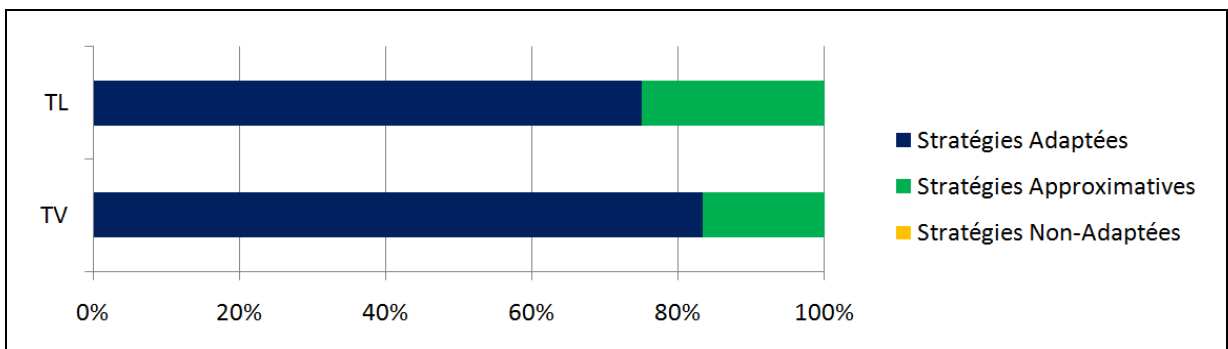


Figure 17 : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2a

3. Epreuve 2a (permutations de 3 jetons)

3.1. Performances

	Nombre de sujets	Nombre d'Échecs	Nombre d'Intermédiaires	Nombre de Réussites
Population TL	8	0	3	5
Population TV	24	0	11	13

Tableau 24 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2a

Nous pouvons observer à cette épreuve des performances assez similaires dans les deux populations (cf. figure 16), avec une proportion un peu plus importante de réussite chez les sujets TL (62,5% contre 54,1% pour les TV). Le test exact de Fisher donne $p=1,000$: les résultats sont donc tout à fait comparables entre les deux populations. Aucun échec n'est constaté.

3.2. Adaptation des stratégies et stratégies préférentielles

Cette épreuve ne compte que trois stratégies NA1, AP2 et AD3 : le niveau d'adaptation et la stratégie utilisée sont donc confondus.

	Nombre de sujets	Stratégie NA1	Stratégie AP2	Stratégie AD3
Population TL	8	0	2	6
Population TV	24	0	4	20

Tableau 25 : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2a

Les deux populations adoptent des conduites similaires (cf. figure 17). Ils utilisent surtout la stratégie AD3 (stratégie par algorithme), et ce dans des proportions assez proches (six sujets sur huit, soit 75% pour les sujets TL, contre 83,3% pour les sujets TV). Les autres sujets procèdent par tâtonnements empiriques. La légère différence observée n'est pas significative ($p=0,625$).

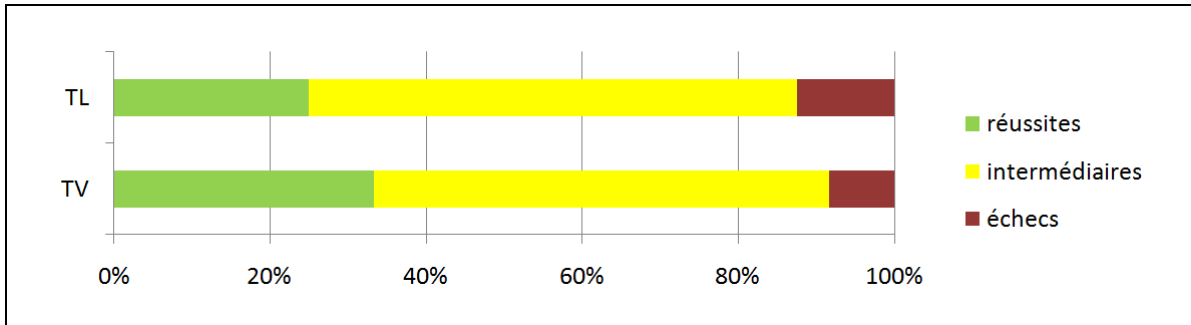


Figure 18 : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2b

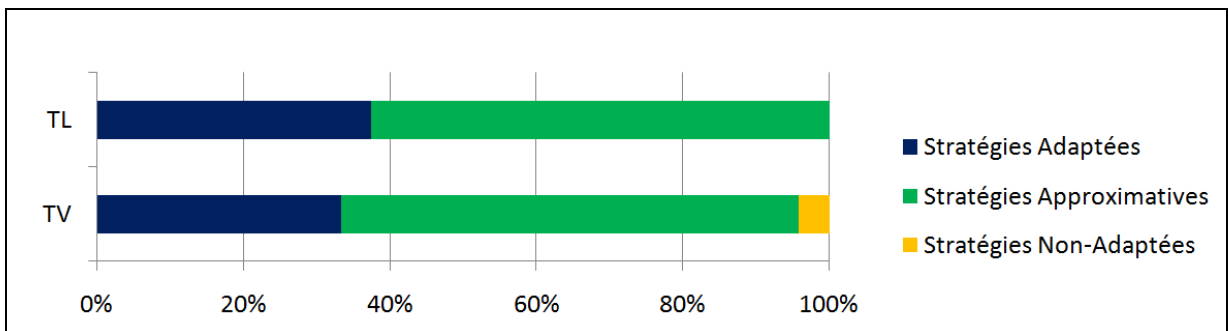


Figure 19 : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2b

4. Epreuve 2b (permutations de 4 jetons)

4.1. Performances

	Nombre de sujets	Nombre d'Échecs	Nombre d'Intermédiaires	Nombre de Réussites
Population TL	8	1	5	2
Population TV	24	2	14	8

Tableau 26 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b

Les sujets TV présentent des performances légèrement supérieures à celles des sujets TL ; toutefois, la différence constatée n'est pas significative ($p=0,877$) et le taux de réussite (vingt-quatre permutations sont trouvées) est globalement faible. Cette épreuve met en évidence des échecs au sein des deux populations (cf. figure 18).

4.2. Adaptation des stratégies

	Nombre de sujets	Nombre de conduites Non-Adaptées	Nombre de conduites Approximatives	Nombre de conduites Adaptées
Population TL	8	0	5	3
Population TV	24	1	15	8

Tableau 27 : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b

D'après la figure 19, les résultats très comparables entre les deux populations mettent en évidence une part assez faible de conduites adaptées. Nous pouvons observer toutefois une proportion plus importante de ces conduites chez les sujets TL (37,5%, contre 33,3% chez les sujets TV). Cette différence n'est pas significative ($p=1,000$). Nous pouvons également noter l'utilisation d'une stratégie non-adaptée chez les sujets TV.

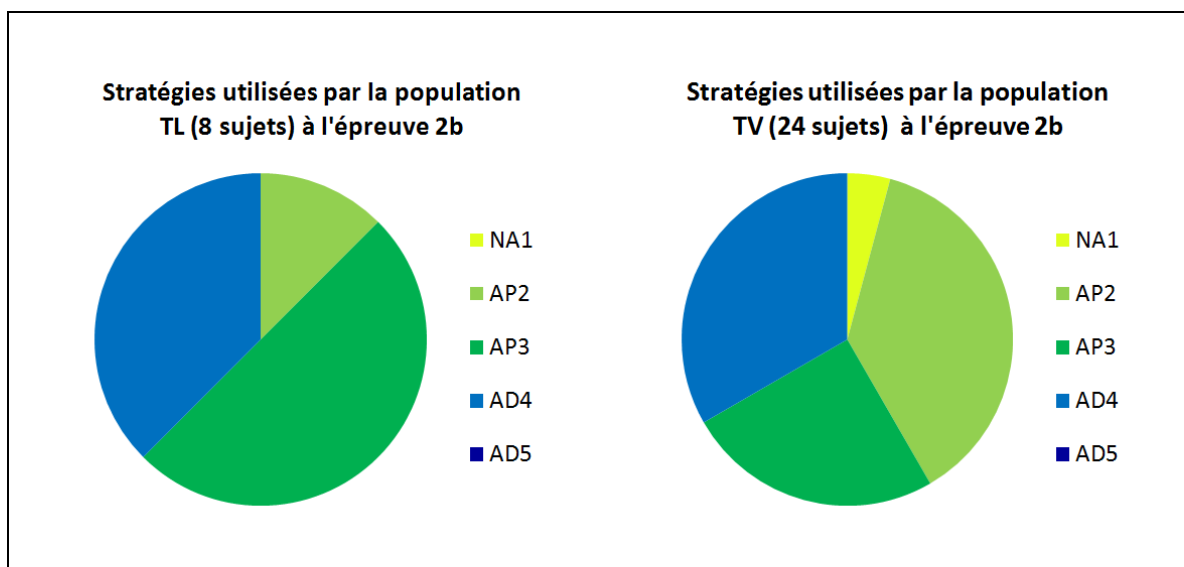


Figure 20 : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2b

4.3. Stratégies préférentielles

	Nombre de sujets	Stratégie NA1	Stratégie AP2	Stratégie AP3	Stratégie AD4	Stratégie AD5
Sujets TL	8	0	1	4	3	0
Sujets TV	24	1	9	6	8	0

Tableau 28 : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b

Bien que les stratégies utilisées par les deux populations diffèrent (cf. figure 20), l'analyse statistique ne fait pas ressortir de différence significative dans l'utilisation préférentielle de stratégies entre les sujets TL et les sujets TV ($p=0,306$). La stratégie AP2 (procédures algorithmiques) est la plus utilisée par les sujets TV, sans toutefois être majoritaire (37,5%) ; alors que les sujets TL utilisent à 50% la stratégie AP3 (procédures complexes). On constate qu'aucun sujet n'utilise la stratégie AD5 (métaprocédure, stratégie formelle).

4.4. Comportements spécifiques observés

A cette épreuve, plusieurs comportements spécifiques ont retenu notre attention parmi la population des tout-venants :

- Plusieurs adolescents ont trouvé seulement trois solutions à l'épreuve 2a, par décalage successif de la séquence de trois jetons. Parmi eux, NB6, NC5 et CQ3 persistent sur cet algorithme à l'épreuve 2b, et réalisent par conséquent quatre solutions. Plus particulièrement, NB6 et CQ3 trouvent par hasard une autre solution, mais la refusent.
- Deux adolescentes abandonnent à l'épreuve 2b : CN4 trouve vingt-trois solutions en faisant des blocs de solutions commençant par une couleur spécifique, à l'intérieur desquels elle trouve les six solutions possibles, uniquement par tâtonnements. Toutefois, elle ne remarque pas cette régularité et s'arrête à la vingt-troisième solution en signalant qu'« *il y en a encore beaucoup, mais qu'[elle ne peut] pas les trouver* ». MP5, quant à elle, donne quatre solutions en anticipation (elle avait trouvé trois solutions pour les permutations de trois jetons), qu'elle réalise. Elle s'aperçoit alors qu'elle peut en faire d'autres, mais s'arrête alors à huit solutions. Elle précise qu'elle pense qu'il y en a d'autres mais qu'elle ne sait pas comment faire pour les trouver, et refuse de continuer malgré nos relances.

5. Epreuve 2c (généralisation des permutations à 5, 10 puis n éléments)

Aucun des dix sujets à qui cette épreuve a pu être proposée n'a été en mesure d'adopter un raisonnement lui permettant de trouver le bon résultat.

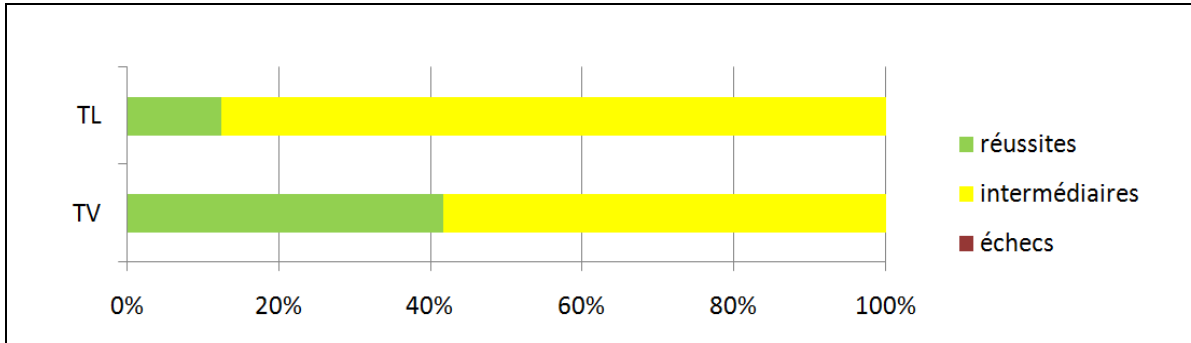


Figure 21 : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 3

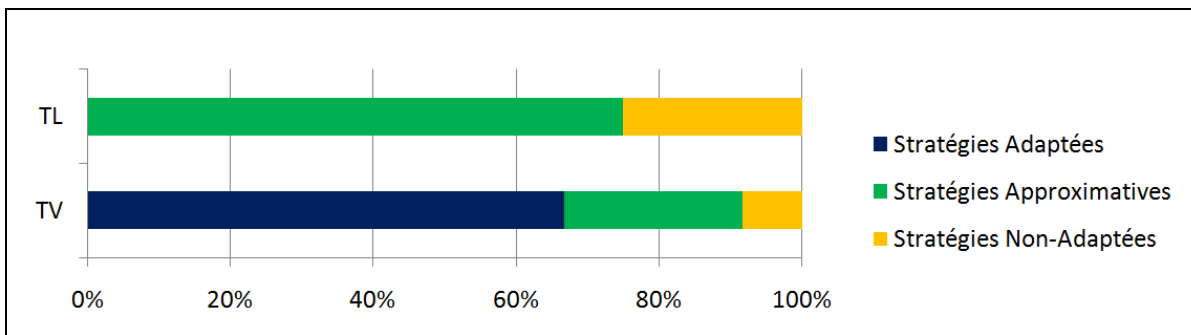


Figure 22 : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 3

6. Epreuve 3 (combinaisons chimiques)

6.1. Performances

	Nombre de sujets	Nombre d'Échecs	Nombre d'Intermédiaires	Nombre de Réussites
Population TL	8	0	7	1
Population TV	24	0	14	10

Tableau 29 : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3

Sur la figure 21, nous pouvons observer une assez nette différence entre les performances des sujets TL et TV : alors que 41,6% des sujets TV trouvent les deux solutions (réussite), un seul sujet TL y parvient. Cependant, cette différence n'est pas significative ($p=0,209$). Aucun sujet n'est en échec : tous les sujets ont trouvé au moins une des deux solutions possibles.

6.2. Adaptation des stratégies

	Nombre de sujets	Nombre de conduites Non-Adaptées	Nombre de conduites Approximatives	Nombre de conduites Adaptées
Population TL	8	2	6	0
Population TV	24	2	6	16

Tableau 30 : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (A) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3

D'après la figure 22, le niveau d'adaptation entre les deux populations est nettement différent : aucun des sujets TL n'utilise une stratégie adaptée, alors que ce cas de figure est majoritaire parmi les sujets TV (66,7% de conduites adaptées). 75% des sujets TL présentent une conduite approximative, et leur taux de conduites non-adaptées est plus élevé (25,0%, contre 8,3% pour la population TV). La différence constatée est très significative ($p=0,002$).

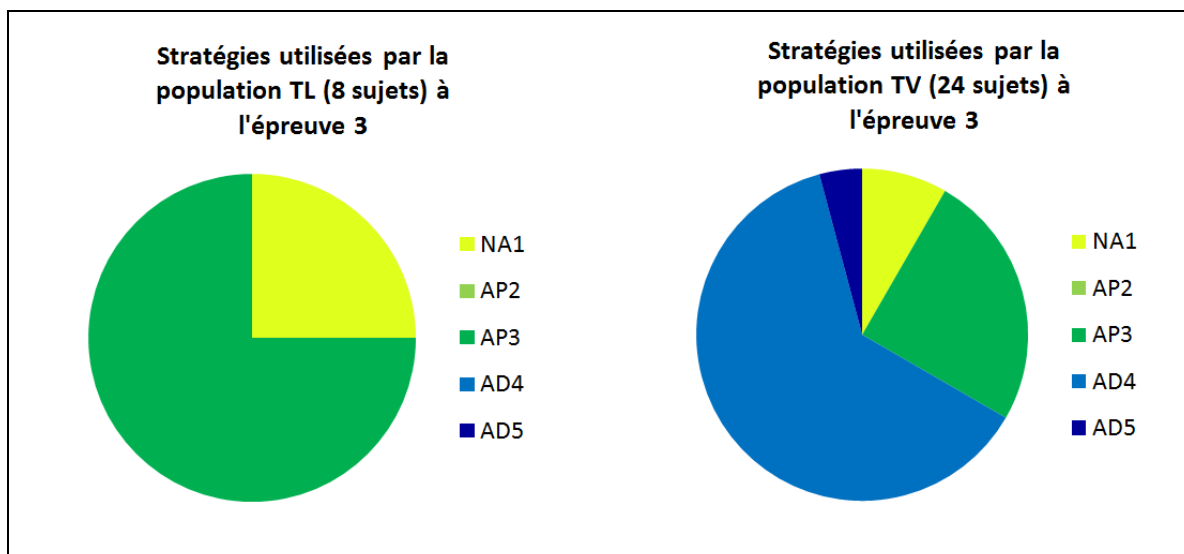


Figure 23 : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 3

6.3. Stratégies préférentielles

	Nombre de sujets	Stratégie NA1	Stratégie AP2	Stratégie AP3	Stratégie AD4	Stratégie AD5
Population TL	8	2	0	6	0	0
Population TV	24	2	0	6	15	1

Tableau 31 : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3

D'après la figure 23, les stratégies utilisées à cette épreuve sont très différentes entre les sujets TL et TV. Les sujets TL utilisent pour leur grande majorité la stratégie AP3 (début de combinaisons deux à deux, ou trois à trois, après tâtonnements), et deux d'entre eux emploient la stratégie NA1 (tâtonnements empiriques). Les sujets TV, quant à eux, emploient préférentiellement la stratégie AD4 (début de systématisation des possibles), et l'un d'entre eux parvient à une systématisation complète (AD5). Le taux de significativité est $p=0,006$: ces résultats sont donc clairement différenciés.

6.4. Logique des propositions

	Nombre total de sujets	Trouvent le rôle des 4 produits	Trouvent le rôle des réactifs et de 2 ou 4	Dégagent uniquement le rôle des réactifs	Ne savent pas
Population TL	8	0	0	6	2
Population TV	24	4	3	13	4

Tableau 32 : Répartition des réponses à la question « Quel est le rôle de chacun des produits ? » pour la population TL et pour la population TV

Seuls certains sujets TV parviennent à raisonner correctement sur les propositions, c'est-à-dire à trouver le rôle des produits 2 et/ou 4. De plus, nous pouvons remarquer que les sujets qui ont trouvé le rôle des quatre produits ont tous auparavant découvert les deux solutions possibles en utilisant une stratégie adéquate (début de systématisation, AD4). Ils ne représentent que 16,7% de la population TV. Nous relevons aussi chez deux sujets (NB6 et NC5) une tentative de raisonnement sur les propositions : ces adolescents font des hypothèses et essayent des mélanges afin de les vérifier, mais leur raisonnement est encore imparfait (ils concluent à la neutralité du produit 4). A l'inverse, aucun sujet TL n'a ébauché un raisonnement de ce type.

Notons également qu'une grande part des sujets a montré des signes d'incompréhension face à notre question.

7. Récapitulatif des résultats aux différentes épreuves

Les graphiques suivants regroupent les niveaux de performance et d'adaptation des stratégies pour chacune des épreuves et permettent d'avoir une vision d'ensemble des résultats des deux populations.

7.1. Performances

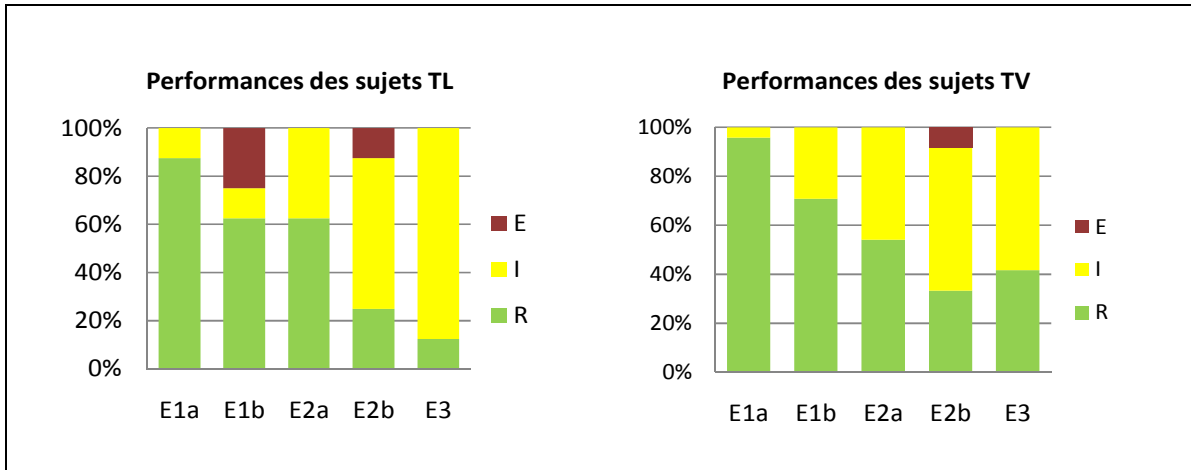


Figure 24 : Récapitulatif des performances à chaque épreuve pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets)

7.2. Adaptation des stratégies

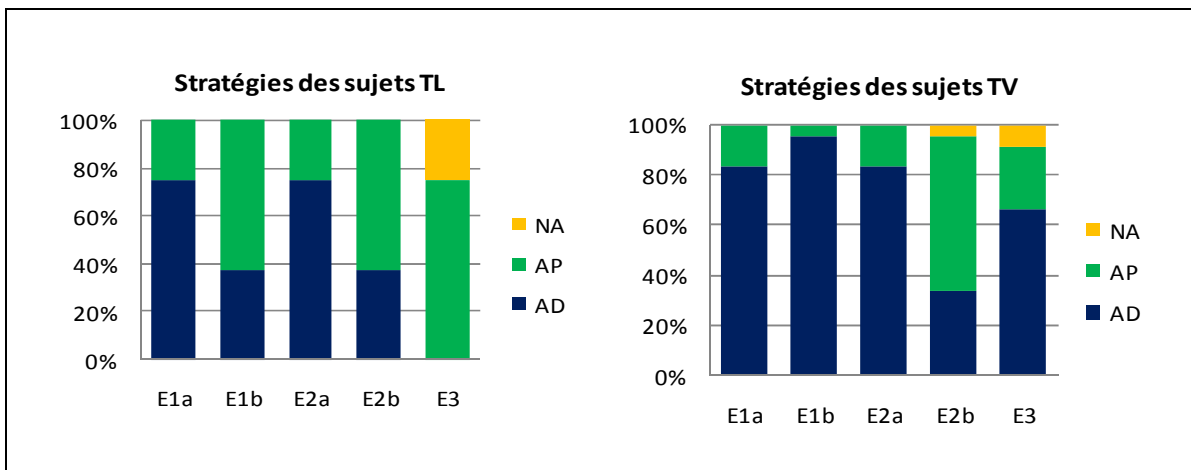


Figure 25 : Récapitulatif de l'adaptation des stratégies à chaque épreuve pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets)

Chapitre V
DISCUSSION DES RESULTATS

I. Analyse de la comparaison entre les sujets TL et TV

Nous avons fait l'hypothèse générale que les sujets TL auraient plus de difficultés que les sujets tout-venants à résoudre les différentes épreuves de combinatoire. Nous pensions donc que notre expérimentation permettrait de dégager chez les sujets TL un niveau de performance inférieur à celui des sujets TV ainsi que l'utilisation de stratégies moins adaptées. Nous nous attendions également à ce que différents éléments de l'analyse des corpus mettent en avant chez les sujets TL des difficultés particulières.

Cette hypothèse est globalement validée, comme nous allons le montrer ci-dessous.

1. Analyse du niveau de performance

Nous pensions que les sujets TL obtiendraient un niveau de performance inférieur à celui des sujets TV. Or, la comparaison de nos deux populations sur l'ensemble du protocole ne laisse apparaître qu'une très légère différence en faveur de la population TV. De plus, la comparaison des sujets au sein des groupes d'appariement, c'est-à-dire d'un sujet par rapport à ses sujets témoins, montre une importante hétérogénéité des niveaux de performance, que ce soit globalement ou épreuve par épreuve. Par conséquent, sur notre échantillon, la cotation en niveau de performance ne permet pas, à elle seule, de différencier les sujets TL des sujets TV.

2. Analyse du niveau d'adaptation des stratégies utilisées

Nous avons également fait l'hypothèse que les sujets TL utiliseraient des procédures moins adaptées que les sujets TV. Effectivement, la nette différence observée entre les stratégies utilisées par les deux populations générales et au sein des groupes d'appariement nous permet de valider cette hypothèse sur notre échantillon.

3. Analyse qualitative

Nous pensions que différents éléments qualitatifs permettraient de révéler chez les sujets TL des difficultés particulières lors de la passation des différentes épreuves de combinatoire. Différents éléments, que nous allons détailler, permettent d'étayer cette hypothèse.

3.1. Stratégies qualitativement différentes

Au niveau des stratégies utilisées, nous avons pu observer des différences qualitatives entre les sujets TL et les sujets TV. Tout d'abord, il est apparu une différence significative entre l'utilisation préférentielle des stratégies des sujets TL et TV aux épreuves 1 et 3. A ces épreuves, les stratégies employées préférentiellement par les sujets TL étaient moins élaborées.

Ensuite, nous avons pu voir que plus de la moitié des stratégies utilisées par les sujets TL sur l'ensemble du protocole sont des stratégies approximatives ou non-adaptées. Les sujets TL ont également montré une impossibilité d'accommoder ces stratégies peu efficaces au détriment d'autres plus adaptées. Comme le fait remarquer Weill-Fassina (1978, cité par Navarro, 1983), un raisonnement plus élaboré est parfois plus fragile. Nous pouvons penser que c'est pour cette raison qu'à l'épreuve de l'usine de vêtements, les sujets TL ont conservé une stratégie figurative longue et fastidieuse, plutôt que de mettre en œuvre un raisonnement plus mobile. Cependant, le sujet SR6, du fait de sa persévérance et de son organisation rigoureuse a pu réussir les épreuves proposées et ainsi obtenir un bon niveau de performance en utilisant des stratégies peu élaborées mais bien maîtrisées. Il en résulte une durée importante de réalisation sur l'ensemble des épreuves.

Cette utilisation de stratégies approximatives et la persévérance de son utilisation montrent la nécessité des sujets TL de se raccrocher à une représentation concrète, en particulier lorsque la situation est complexe.

A l'inverse, les sujets TV ont préférentiellement employé un raisonnement de type formel ou pré-formel. De plus, certains sujets qui avaient utilisé un support concret à la première sous-épreuve l'ont abandonné à la seconde : ils ont pu accommoder leur stratégie de façon à rétablir l'équilibre (Rammozzi-Chiarottino, 1989). Ils ont formalisé leur raisonnement sur la situation plus abstraite à partir de celui qu'ils avaient utilisé pour résoudre la situation à deux critères et ont donc montré des capacités d'apprentissage et d'adaptation au cours de la passation.

Enfin, certains sujets TL nous semblent avoir illustré les propos de Meljac et Lemmel qui précisent qu'« *il ne suffit pas toujours de posséder certaines capacités pour être en mesure de les utiliser* » (2005, p. 353). En effet, les sujets LM6 et CR3 nous semblent avoir utilisé des stratégies qu'elles ne maîtrisaient pas, qu'elles n'ont donc pas pu nous expliquer. Nous pouvons penser que ces procédures élaborées ont été apprises en milieu scolaire sans que les sujets n'aient pu se les approprier, nous évoquant « l'automaths » décrit par Baruk (1985, cité par Grégoire, 2005).

En conclusion, au sein de notre échantillon, les sujets TL ont utilisé des stratégies moins élaborées que les TV en préférant l'appui sur un support concret. Ils ont également montré des difficultés à accommoder et ont parfois employé des stratégies non maîtrisées.

3.2. Durée de passation

Nous avons supposé que les durées de passation seraient plus importantes chez les sujets TL. Au niveau de la durée moyenne de passation totale, ces derniers sont significativement plus lents que les sujets TV. Cet allongement de la durée totale de passation chez les sujets TL peut être expliqué par la nécessité pour l'examineur de reformuler des consignes et de donner des explications supplémentaires, par l'utilisation de stratégies moins efficaces (et donc plus longues), par une plus importante difficulté à mettre en mot le raisonnement etc., ce qui témoigne de difficultés particulières.

Cet allongement n'est cependant pas forcément retrouvé lors de la comparaison de la durée de chacune des épreuves, qui montre une importante hétérogénéité. Dans l'ensemble, ces durées ne nous semblent pas intéressantes à prendre en compte dans le

cadre de notre analyse : en effet, elles sont largement dépendantes du type de procédure utilisée, puisque certaines stratégies impliquent une résolution beaucoup plus rapide (par exemple la résolution de l'épreuve de l'usine des vêtements est beaucoup plus rapide à l'aide d'une multiplication qu'avec une écriture figurative complète). De plus, nous n'avons mesuré que le temps de réalisation de l'épreuve, en laissant de côté les durées des différentes questions et explications, qui peuvent révéler des difficultés à mettre la pensée en mots.

Toutefois, la durée de la passation peut être un élément important à prendre en compte lors d'un re-test du même sujet, pour un bilan de renouvellement par exemple.

3.3. Qualité des explications et justifications

Au niveau de la qualité des explications et des justifications produites pour les sujets, nous n'avons pu observer de nette différence entre les deux populations. Ceci peut en partie être expliqué par le niveau d'exposition des sujets à ce type d'exercice. En effet, les sujets TL qui sont tous suivis en rééducation doivent fréquemment justifier leur raisonnement au cours des séances d'orthophonie et ont donc l'habitude de devoir répondre à ce genre de questions, contrairement aux sujets TV qui ont parfois été déstabilisés. Par conséquent, l'analyse quantitative de ces réponses ne nous semble pas exploitable dans le cadre de cette recherche.

L'étude de cas individuels nous a cependant permis de mettre en avant certains comportements qui ne sont apparus que chez les sujets TL, et peuvent rendre compte de difficultés particulières. Seuls quelques-uns d'entre eux ont refusé de nous justifier leur réponse en estimant que cela n'était pas nécessaire, ou ont refusé de reprendre leur raisonnement alors qu'ils n'avaient pas réussi à l'expliquer. Ces comportements les différencient des sujets TV qui ont admis qu'ils ne savaient pas expliquer ou qui ont recommencé à réfléchir afin de produire un nouveau raisonnement. Les sujets TL ne semblaient pas prêts à accepter le conflit cognitif provoqué.

Même si, dans le cadre de cette étude, l'observation de la qualité des productions en réponse à nos questions nous a apporté peu d'éléments, elle nous semble essentielle au cours du bilan orthophonique. En effet, elle nous donne d'importants éléments sur le niveau de maîtrise du raisonnement utilisé, sur la qualité des productions verbales liées au raisonnement, et peut servir de comparaison entre les différents bilans.

4. Validation de l'hypothèse

La synthèse des différents éléments exposés ci-dessus nous permet de valider globalement notre première hypothèse. Les sujets TL utilisent des stratégies moins élaborées que leurs témoins, et présentent des difficultés particulières lors de la résolution des épreuves évaluant la combinatoire. Seule la cotation en niveau de performance n'a pu permettre de distinguer les deux populations. Cependant, cette notation nous paraît essentielle dans l'analyse des corpus effectuée en bilan, comme nous le discuterons dans la partie III.

Cette validation nous permet d'affirmer que ces éléments caractéristiques méritent une attention particulière lors du bilan, puisqu'ils ont permis de différencier les deux populations. De plus, ils permettent d'appréhender la manière dont le sujet aborde les structures de la réalité qui, selon Jaulin-Mannoni (2008), « *diffère d'un sujet à l'autre* ». En effet, celle-ci aura un impact sur les possibilités d'évolution du raisonnement, et devra être prise en compte pour construire notre rééducation.

II. Analyse de la pertinence des différentes épreuves

Nous avons fait l'hypothèse que nos différentes épreuves apparaîtraient adaptées pour le bilan logico-mathématique des adolescents, en permettant de différencier les sujets TL et TV au niveau des performances, au niveau de l'adaptation des stratégies utilisées, et en considérant les stratégies préférentiellement employées au sein des deux populations. De plus, nous pensions que le matériel proposé et les consignes conviendraient à l'évaluation d'une population de collégiens. Il s'agit ici d'analyser si chacune des épreuves a pu répondre à ces exigences, afin de juger de leur pertinence. Nous allons voir que cette seconde hypothèse n'est validée que pour certaines épreuves.

1. Remarques générales sur la passation des épreuves

Dans l'ensemble, les conditions générales de passation et sa réalisation pratique ont paru satisfaisantes. Les épreuves se sont révélées relativement simples et rapides à faire passer. Ensuite, les épreuves choisies ont semblé bien adaptées à notre population : d'une part, aucune épreuve n'a été réussie par tous les sujets. D'autre part, nous avons constaté une proportion très faible d'échecs, ce qui est également appréciable pour les sujets testés, un échec pouvant entraîner une situation de grand inconfort.

2. L'usine de vêtements

2.1. Analyse des résultats

Rappelons tout d'abord que l'épreuve préliminaire de l'usine de jetons (qui demande de dessiner tous les jetons possibles avec deux critères) est globalement réussie par tous les collégiens de l'étude, y compris les sujets TL, et sans que ceux-ci n'y passent plus de temps que les sujets TV. Nous pouvons donc dire qu'une épreuve de produit cartésien aussi concrète n'a plus d'intérêt au niveau du collège, excepté peut-être pour des sujets en grande difficulté.

Pourtant, lorsque cette même opération est proposée dans un cadre moins concret, en l'occurrence celui de l'usine de vêtements, des différences apparaissent entre la population TL et la population TV.

L'analyse des niveaux de performance et d'adaptation des stratégies à l'épreuve 1a ne montre pas de différence entre les sujets TL et les sujets TV. Cependant, cette épreuve permet de dégager que la plupart des sujets TL utilisent un support concret pour étayer leur raisonnement, tandis que les TV réalisent plutôt des calculs de type formel.

L'épreuve 1b a révélé davantage d'éléments différenciant les sujets TL des sujets TV. Ainsi, on observe un écart significatif entre les deux populations, tant sur le plan des performances que sur celui des stratégies. En effet, tandis que les performances des sujets TV restent globalement élevées, plusieurs sujets TL sont en échec. Par ailleurs, l'analyse des stratégies révèle que les sujets TL ont utilisé préférentiellement des stratégies approximatives de type figuratif alors que les sujets TV privilégient l'usage de stratégies adaptées de type formel.

2.2. Conclusion

L'épreuve de l'usine des vêtements apparaît facile à mettre en œuvre et adaptée à un public de collégiens. Elle a permis de différencier clairement les deux populations. L'épreuve 1a, même si elle a apporté moins d'éléments à la différenciation des deux populations, nous semble cependant essentielle pour appréhender et comprendre l'épreuve 1b. Elle apporte également de précieuses informations sur l'évolution des stratégies lors de la complexification de l'épreuve (passage de deux à trois critères). L'épreuve 1 nous semble donc une épreuve pertinente pour le bilan logique du collégien.

3. Les permutations de jetons

3.1. Adaptation de l'épreuve

Nous avons à l'origine envisagé de proposer cette épreuve à partir d'une consigne abstraite (par exemple, trouver tous les voyages différents que l'on peut faire en passant par trois puis quatre pays). Mais, lors de nos pré-tests, nous nous sommes heurtées à d'importants problèmes de compréhension de consignes, qui mettaient en jeu la passation effective de l'épreuve. C'est pourquoi nous avons finalement choisi ce support très concret de jetons de couleur, utilisé par Inhelder et Piaget (1970), qui nous évitait un tel écueil.

Toutefois, bien que la consigne ait été globalement bien comprise par l'ensemble de nos sujets, nous allons voir que la prégnance de la composante spatiale du matériel proposé a probablement entravé le mode de résolution employé par un grand nombre de sujets.

Il nous faut également noter qu'une partie des sujets a paru découragée face à cette épreuve et certains adolescents s'en sont même plaints. En effet, lorsque le sujet ne parvient pas à trouver une méthode organisée, il lui est impossible d'estimer le nombre de solutions et la recherche peut alors paraître fastidieuse. Ce découragement peut également être lié au matériel qui a semblé peu les motiver.

3.2. Analyse des résultats

Contrairement à nos attentes, cette étude a fait ressortir des performances et des stratégies globalement très similaires entre la population TL et la population TV sur cette épreuve, qui remettent en cause sa pertinence.

Nous pouvons remarquer que dans le cas des permutations de quatre jetons, le taux de réussite est faible pour l'ensemble des sujets. Par ailleurs, c'est la seule épreuve où l'on constate des échecs au sein de la population TV. Ce résultat est à mettre en lien avec les stratégies employées par nos sujets.

En effet, ceux-ci ont en grande partie utilisé des stratégies approximatives, alors que, comme le fait remarquer Teschner (1993), cette opération nécessite une organisation rigoureuse pour permettre l'exhaustivité. La seule stratégie adaptée qui a été employée consistait à réaliser un ou plusieurs blocs de solutions (c'est-à-dire les six solutions possibles avec une couleur fixe), en généralisant ensuite à l'ensemble. Il s'agit donc d'une généralisation étayée par un support concret. Nous n'avons donc observé aucune stratégie de type formel (métaprocédure), et aucune réussite à la généralisation à cinq jetons. Ce dernier résultat n'est pas surprenant puisque la découverte du système suppose un raisonnement formel, que les sujets n'ont pas utilisé. Ceux qui ont tenté de formaliser le système se sont appuyés sur des indices mathématiques, en rapprochant les résultats trouvés pour deux, trois et quatre jetons, sans parvenir à extraire la règle.

Nous pensons en partie pouvoir expliquer ces résultats en niveau de performance et en niveau de stratégie par un biais de matériel. En effet, nous avons constaté que les stratégies approximatives utilisées par les deux populations (procédures algorithmiques ou complexes) sont très reliées à la situation perceptive, et s'appuient sur des raisonnements visuels ou spatiaux (par exemple, certains sujets ont réalisé la symétrie de leurs solutions initiales). Certains sujets TV ont également employé une stratégie non-combinatoire, qui consistait à simplement décaler d'une place chaque jeton pour obtenir une nouvelle solution et semblaient raisonner en termes de lignes, mais aussi en termes de colonnes (on ne doit pas trouver deux fois un jeton de même couleur dans la même colonne). Nous pensons donc que de nombreux sujets se sont essentiellement concentrés sur les aspects visuels et spatiaux qui les ont empêchés d'utiliser un raisonnement opératoire, qu'ils auraient peut-être pu employer avec un autre matériel. Par exemple, on pourrait leur proposer de chercher tous les codes possibles à partir de chiffres ou symboles donnés.

Cette hypothèse peut être étayée par le fait que certains sujets qui ont échoué à cette épreuve ont été capables d'une systématisation à l'épreuve suivante (combinaisons chimiques) : ainsi les permutations n'ont pas fait ressortir leurs réelles capacités de pensée combinatoire. Il aurait alors été intéressant de leur proposer un étayage plus poussé, afin de les amener au plus haut niveau de raisonnement dont ils étaient réellement capables. Toutefois, une telle utilisation de l'étayage n'est pas envisageable au sein d'une épreuve standardisée, puisqu'il est nécessaire d'adapter l'aide à chaque enfant. Cela ne serait donc possible que dans le cadre d'une observation purement clinique.

3.3. Conclusion

Cette épreuve paraît donc intéressante pour une observation clinique, mais ne nous semble pas pertinente sous cette forme pour repérer des troubles de la logique : en effet, elle n'a permis au sein de notre étude de différencier nos deux populations. De plus, une grande majorité de la population TV y présente des conduites peu adaptées et semble en difficulté sur cette épreuve.

4. Les combinaisons chimiques

4.1. Adaptation de l'épreuve

Cette épreuve s'est révélée plutôt attractive pour les adolescents, qui ont sans doute été davantage stimulés par la situation d'expérience que par la recherche d'un nombre de solutions. La situation problème était globalement bien comprise par nos sujets.

Néanmoins, nous avons rencontré quelques problèmes pour la formulation de nos questions, que nous voulions garder très générales pour ne pas induire de raisonnement, dans l'esprit des passations piagésiennes (Bak, 1997). Grâce aux pré-tests, nous avons nuancé la consigne première (qui était de refaire la couleur jaune), en demandant aux sujets de trouver « comment on [pouvait] faire du jaune », et ce afin d'encourager les sujets à s'organiser plutôt que de chercher une solution au hasard et à continuer leur recherche après la découverte d'un résultat. Nous y avons également ajouté une relance : « Veux-tu t'arrêter ou bien continuer de chercher ? », dans le cas où le sujet s'arrêtait spontanément après cette découverte.

De même, pour la partie de l'épreuve dévolue à la logique des propositions, nous avons constaté que la plupart des sujets observés n'exprimaient pas spontanément le rôle des différents produits. Nous avons donc ajouté à la passation une question spécifique à ce problème : « Pourrais-tu me dire l'effet de chacun des produits ? ». Or, nous avons pu remarquer que celle-ci était difficilement compréhensible pour une large part de nos sujets, qui n'ont pas pu nous répondre. Contrairement à ce que nous avons pensé, elle n'entraînait que rarement une reprise des combinaisons, ou la formulation d'hypothèses suivie d'une vérification, comportement signant une démarche expérimentale (Inhelder et Piaget, 1970).

En effet, il n'est pas évident pour le sujet de comprendre ce qu'on attend de lui par cette question, mais il nous a semblé que sa compréhension était également liée aux compétences en logique des propositions, qui permettaient d'y répondre.

4.2. Analyse des résultats

Au niveau des performances, cette épreuve n'a fait apparaître qu'une légère différence observée en faveur des sujets TV, qui ne s'est pas révélée significative. En effet, la plupart des sujets, toutes populations confondues, n'a trouvé qu'une solution sur deux, ce qui équivaut dans notre cotation à une réussite intermédiaire. La faible proportion de réussites totales peut s'expliquer par le fait qu'un grand nombre de nos sujets n'a pas jugé utile de continuer sa recherche après la découverte d'un résultat, et ce malgré notre relance. Dans de tels cas, les combinaisons n'ont donc pas été toutes formées. Toutefois, nous n'avons constaté aucun échec : tous les sujets ont trouvé au moins une des deux solutions.

A l'inverse, au niveau des stratégies employées, cette épreuve a mis en avant une très nette différence entre les deux populations : en effet, alors que les sujets TV ont en majorité adopté des comportements de systématisation plus ou moins aboutis des

combinaisons possibles, les sujets TL commençaient seulement à combiner les produits deux à deux ou trois à trois, voire procédaient par tâtonnements empiriques.

Malheureusement, avec cette forme de passation, nous ne pouvions conclure si l'emploi d'une stratégie approximative ou non-adaptée était dû au fait que le sujet ne savait pas comment systématiser les possibles, ou au fait qu'il n'en saisissait pas l'intérêt. Il nous semble donc qu'il aurait pu être intéressant d'inciter les sujets à réaliser tous les possibles dans le cas où ils ne le feraient pas spontanément.

Au niveau de la logique des propositions enfin, nous avons pu voir que seuls les sujets qui avaient correctement systématisé les possibles – c'est-à-dire uniquement des sujets TV - étaient capables d'un raisonnement sur les propositions, et que très peu y parvenaient. Nos résultats ont fait apparaître une grande hétérogénéité, et ne nous permettent pas pour l'instant de faire émerger d'observations pertinentes. Il serait nécessaire de reprendre cette épreuve et d'en affiner la passation dans la perspective d'une meilleure analyse du raisonnement interpropositionnel, éventuellement chez des sujets plus âgés.

4.3. Conclusion

Par conséquent, cette épreuve s'est révélée riche d'observations cliniques et nous a permis de différencier clairement les résultats des sujets TL de ceux des sujets TV. Sa mise en application simple, rapide et plutôt ludique en font également une épreuve qui semble pertinente dans le cadre d'un bilan logique du collégien, mais qui nécessiterait d'être retravaillée.

5. Validation des hypothèses

Dans l'ensemble, nos épreuves n'ont pas permis de distinguer clairement les performances des sujets TL de ceux des sujets TV, mis à part l'épreuve 1b. Cependant, l'adaptation des stratégies permet de distinguer les deux populations pour les épreuves 1b et 3. De plus, pour les épreuves 1a, 1b et 3, les stratégies préférentiellement utilisées par les sujets TL sont différentes de celles des sujets TV : elles sont toujours moins élaborées. Ces mêmes épreuves ont présenté des conditions de passation satisfaisantes.

En conclusion, différents éléments ont permis de mettre en évidence que les épreuves de l'usine de vêtements et des combinaisons chimiques semblaient pertinentes pour l'évaluation de la combinatoire chez les collégiens. L'épreuve de permutations, par contre, ne semble pas intéressante à exploiter sur un tel matériel, et mériterait une nouvelle étude sous une autre forme de présentation. Nous validons donc notre hypothèse pour les épreuves 1 et 3.

Par ailleurs, l'analyse des conduites aux différentes épreuves nous a permis de remarquer une très faible proportion de raisonnements formels (recouvrant dans notre étude : l'utilisation d'une métaprocédure, la découverte du système mathématique, la systématisation complète des possibles et la logique des propositions), non nécessairement employés par les sujets les plus âgés. Cette observation corrobore l'accès limité aux opérations formelles décrit par exemple par Bradmetz (1999) et Shayer et al. (1978).

III. Limites de notre étude

1. Limites liées à notre population

Dans l'idéal, il aurait fallu mener une telle étude sur une population plus étendue, afin de pouvoir procéder à une analyse statistique plus fiable. De plus, il aurait été intéressant de contrôler les variables nécessaires à la constitution d'un échantillon représentatif de la population, par rapport au niveau socio-culturel par exemple.

1.1. Population de sujets à troubles logiques

Au-delà du problème de significativité posé par le nombre très restreint de nos sujets TL, lié à la difficulté de rassembler une telle population à un niveau de collège, il est important de remarquer que l'hétérogénéité des troubles présentés par nos sujets a pu conduire à des biais. En effet, les troubles logiques présentés pouvaient être de sévérité variable. Pour finir, nous n'avons pas pu contrôler la variable d'effet de la rééducation orthophonique. Par exemple, à l'épreuve des permutations, certains sujets TL ont pu s'organiser plus facilement grâce à des situations analogues rencontrées en rééducation.

On ne peut donc négliger l'impact possible de l'hétérogénéité de notre population sur la précision de nos résultats. Des sujets TL n'ayant eu aucune rééducation auraient probablement obtenu de moins bons résultats, creusant encore l'écart entre les deux populations. Toutefois, compte tenu de la difficulté que nous avons rencontrée à rassembler une population de collégiens présentant des troubles de la logique, nous n'avons pu maîtriser cette variable.

1.2. Population de sujets tout-venants

Notre étude portant sur des sujets « tout-venants », nous n'avons pas cherché à contrôler leurs capacités logico-mathématiques générales. Or, les difficultés de certains d'entre eux ont pu induire une déviation des résultats. Sur un échantillon aussi restreint, l'idéal aurait été de pouvoir établir le profil cognitif de chacun afin d'éliminer de notre population ceux qui présentaient des troubles logiques, mais cela était difficilement envisageable dans le cadre d'un mémoire. De plus, nous avons dû abandonner une étude inter-âge qui ne s'est pas révélée pertinente dans un échantillon de cette taille (cf. p. 49).

2. Limites de notre expérimentation

2.1. Limites du protocole

Notre protocole étant destiné à évaluer la pensée combinatoire, l'étude que nous avons faite est par conséquent restreinte à un champ réduit de la pensée de l'adolescent. Une étude comportant une évaluation d'autres structures logiques, et visant à l'établissement d'un profil cognitif des sujets, aurait sans aucun doute mis en avant de nombreuses

données utiles à l'interprétation des résultats de nos sujets sur ces épreuves, comme le suggèrent les travaux d'Higélé (1997). De plus nous n'avons pas contrôlé le niveau de langage oral en réception et en production de nos sujets : pourtant celui-ci a un impact important sur l'expression des compétences logiques et ne doit pas être négligé lors du bilan logico-mathématique.

Ensuite, il nous faut mentionner le biais possible dû à la variabilité des conditions de passation : nos expérimentations ont eu lieu à divers moments et dans des lieux variables (cabinet d'orthophonie, domicile ou collège).

Pour finir, notre parti pris d'établir un script de passation a pu limiter l'exploration de la pensée de nos sujets. Si la standardisation de l'évaluation logique était un objectif important pour Inhelder (Morgado et Parrat-Dayan, 2002), il nous semble qu'elle comporte le risque de s'enfermer dans un cadre de passation trop rigide, qui omettrait de prendre en compte la manière personnelle du sujet d'aborder les structures de la réalité, élément central pour Jaulin-Mannoni (2008). Ainsi, nos conduites d'étayages pré-définies n'ont pas toujours pu être parfaitement adaptées au raisonnement des adolescents observés, et on peut penser que, par conséquent, certaines passations n'ont pas pu rendre compte des réelles capacités des sujets. Cependant, dans notre démarche de standardisation et en vue d'une éventuelle normalisation, cela nous paraît être un écueil inévitable.

2.2. Limites des différentes épreuves

La passation du protocole a fait ressortir certaines limites aux différentes épreuves.

A l'épreuve 1 (usine de vêtements), on ne peut négliger l'importance de l'utilisation du nombre. Même si nous avons choisi d'emblée de ne pas pénaliser les erreurs de calcul, nous pouvons penser que des sujets en difficulté auraient pu choisir une stratégie figurative pour éviter le maniement des nombres, qui aurait été trop ardu pour eux. De plus, cette épreuve peut mettre en jeu la mémoire de travail (dans le cas d'un dénombrement de solutions effectué de tête), de même que la phase d'anticipation à l'épreuve de permutations de trois jetons : les sujets ayant une faible capacité de mémoire de travail ont donc pu être défavorisés face à ces items. Toutefois, d'après nos observations qualitatives, nous pensons que l'incidence de ce facteur reste relativement faible dans notre étude, car aucun de nos sujets n'a présenté de comportement évoquant une telle difficulté.

A l'épreuve 2 (permutations), il aurait été préférable de mieux tester le matériel avant les passations effectives. Nous aurions pu alors choisir un support entraînant moins de biais perceptifs, et nos résultats auraient pu s'en trouver différents.

Enfin, à l'épreuve 3 (combinaisons chimiques), nous n'avions pas songé à exploiter davantage la phase d'anticipation. Pourtant, il aurait été précieux de connaître le projet d'expérimentation de nos sujets avant qu'ils ne débutent la manipulation : nous aurions ainsi pu savoir s'ils comptaient réaliser toutes les combinaisons possibles, et s'ils pensaient s'organiser d'une manière particulière. Nous aurions alors plus facilement caractérisé certaines stratégies de recherche des possibles, qui ont parfois été arrêtées très précocement à la découverte d'une solution, et dont la cotation s'est trouvée délicate.

IV. Apports et perspectives pour l'orthophonie

1. Intérêt de la forme de la cotation

Nous avons souhaité pouvoir analyser séparément niveau de performance et adaptation de la stratégie utilisée, de façon à pouvoir tenir compte d'une part de la capacité à résoudre la situation problème, et d'autre part de la procédure employée. Cette dissociation dans la cotation nous semble pertinente pour différentes raisons.

Tout d'abord, nous pouvons dire que la performance n'est pas forcément liée au niveau de la stratégie, et inversement. En effet, certains sujets utilisant des stratégies peu élaborées sont parvenus à la solution, alors que d'autres employant des stratégies adaptées n'ont pas pu obtenir le niveau de performance maximum. Il est donc important de prendre en compte ces deux aspects qui ne sont pas toujours dépendants l'un de l'autre.

Notre expérimentation nous a permis de montrer que l'analyse des stratégies utilisées a été d'une grande richesse, tant pour comparer les sujets entre eux - la cotation a clairement permis de différencier la population TL de la population TV - que pour l'analyse qualitative.

Le niveau de performance, à lui seul, n'a pas permis de distinguer les deux populations dans la majorité des cas. Toutefois, il nous paraît être un élément complémentaire important. Pris isolément, il permet de mettre en évidence l'efficacité du sujet, et donc de son adaptation au réel, quel que soit son niveau de pensée. Ensuite, il permet de voir si la stratégie utilisée est efficiente, et pourra aussi par exemple montrer l'évolution de la maîtrise d'une même stratégie lors d'un re-test.

En conclusion, il nous semble que la complémentarité de ces deux formes de cotation en fait sa richesse. A cela s'ajoutent les informations que peuvent apporter la durée de la passation, ainsi que la qualité des explications et justifications, dont nous avons pu aborder précédemment l'importance. Tous ces éléments pourraient être pris en compte lors de la passation des épreuves, afin de servir à l'analyse du corpus du bilan, et à l'éventuelle confrontation qui pourrait avoir lieu en bilan de renouvellement. De plus, l'observation des procédures du sujet et de l'utilisation qu'il en fait sera une base de la rééducation future (Bak, 1997) : en effet, celle-ci va s'appuyer sur ce que le sujet sait faire, afin de l'aider à perfectionner ses stratégies et à les accommoder pour en construire de plus élaborées.

2. Utilisation ultérieure des épreuves

2.1. Epreuve de l'usine de vêtements

Si l'épreuve 1a seule n'est pas forcément très pertinente à proposer à des collégiens, la passation conjointe des épreuves 1a et 1b semble tout à fait exploitable au sein de cette population. Il serait intéressant de pouvoir étalonner l'épreuve complète sous cette forme, sur un échantillon représentatif de la population générale.

2.2. Epreuve de permutations de jetons

Comme nous l'avons vu plus haut, cette épreuve nous semble ne pas pouvoir donner lieu à une utilisation normative, car elle montre une grande hétérogénéité des conduites au sein même de la population TV. Toutefois, des problèmes de permutations de formes variées sont classiquement utilisés en bilan logique pour évaluer la pensée combinatoire : il serait donc pertinent d'étudier la passation de cette épreuve sur un matériel différent.

Une autre piste d'exploitation, évitant le biais visuel, pourrait être de cacher les solutions produites par l'enfant au fur et à mesure de leur réalisation : ainsi, seule une stratégie opératoire organisée pourrait lui permettre d'éviter des redondances. Il serait toutefois important d'estimer l'incidence de la mémoire de travail dans une telle tâche.

2.3. Epreuve de combinaisons chimiques

A notre connaissance, cette expérience n'avait encore jamais été utilisée en tant qu'outil d'évaluation, sans doute parce qu'elle impliquait l'emploi de produits chimiques. Pourtant, à l'issue de cette étude, elle s'avère une épreuve pertinente et simple à mettre en œuvre sous cette forme informatisée. Elle permet aussi d'observer conjointement des capacités de systématisation des possibles et de raisonnement sur les propositions, deux structures logiques centrales de la pensée de l'adolescent (Inhelder et Piaget, 1970). Il nous semble donc qu'il serait intéressant d'en retravailler l'architecture de passation, notamment concernant les éléments suivants :

- La phase d'anticipation pourrait être mieux exploitée, dans le but de connaître le projet expérimental de l'enfant et de mieux interpréter la stratégie qu'il emploie dans le cas où sa recherche est écourtée par la découverte d'une solution.
- La question sur le rôle des différents produits mériterait d'être travaillée afin qu'elle soit mieux comprise. De plus, un travail complémentaire d'analyse permettrait sans doute de retirer de nouveaux éléments concernant la logique des propositions.
- Enfin, dans les cas où l'enfant ne voit pas la nécessité de chercher l'ensemble des combinaisons, on pourrait, au cours d'une étape ultérieure, lui en suggérer l'idée, afin de vérifier ses capacités de systématisation des possibles. Ceci pourrait également lui apporter des éléments nouveaux pour réfléchir au rôle des produits.

La finalisation de l'épreuve permettrait une évaluation plus fine des structures observées, et pourrait donner lieu ultérieurement à un étalonnage de l'épreuve sur une population de collégiens, voire d'étudiants plus âgés. Ce projet pourrait éventuellement faire l'objet d'un autre mémoire d'orthophonie.

CONCLUSION

Notre but initial était de dégager des épreuves standardisées à proposer en bilan logico-mathématique du collégien, au sein d'une approche logique inspirée de la théorie piagétienne.

Dans cette perspective, nous avons adapté trois épreuves portant sur différents niveaux de la pensée combinatoire. La standardisation de leur passation et de leur cotation nous a permis de réaliser une étude quantitative sur notre population, composée d'une part de collégiens présentant des troubles logiques (TL), et d'autre part de collégiens tout-venants (TV).

Nous avons adopté une double cotation en performance et stratégie. Prenant en compte deux aspects complémentaires du raisonnement du sujet, celle-ci nous paraît intéressante dans le cadre de l'évaluation logique. L'attention accordée aux stratégies nous semble indispensable, tant par la richesse des éléments d'analyse qu'elle apporte, que par l'ouverture au projet de rééducation qu'elle fournit. Parallèlement à cette cotation, d'autres observations cliniques que nous avons pu évoquer enrichissent l'évaluation logique, et nous ont servi dans notre analyse.

Nous avons fait l'hypothèse que les sujets TL présenteraient plus de difficultés à résoudre les différentes épreuves de combinatoire, et que celles-ci seraient adaptées au bilan logico-mathématique des collégiens. Nos hypothèses ont été partiellement validées.

En effet, la passation de notre protocole n'a pas fait ressortir de différence significative entre les performances des sujets TL et TV. Cependant, le niveau d'adaptation des stratégies est moins élevé chez les sujets TL, et les stratégies préférentiellement employées par ces derniers sont moins élaborées. Certains éléments qualitatifs nous ont également permis de distinguer les deux populations.

Rappelons toutefois que notre expérimentation n'a porté que sur une seule opération de pensée, la combinatoire. L'adaptation d'épreuves évaluant d'autres structures logiques (conservations, groupe INRC...) chez le collégien permettrait d'envisager l'établissement d'un profil cognitif plus général, essentiel au bilan logique.

L'étude de la pertinence des épreuves a dévoilé un biais de matériel trop important à l'épreuve des permutations de jetons, qui nous fait penser que cette épreuve est peu exploitable sous cette forme. A contrario, les épreuves de l'usine de vêtements et des combinaisons chimiques permettent de mettre en évidence des éléments de différenciation entre les deux populations et semblent adaptées à un bilan du collégien. La passation de ces deux épreuves auprès d'une population plus étendue permettrait d'affiner leur analyse et ainsi contribuer à leur éventuelle validation.

Plus particulièrement, l'épreuve des combinaisons chimiques, dont nous avons adapté la passation sur ordinateur et dont l'utilisation est nouvelle au sein de l'approche orthophonique, nous paraît être un outil très intéressant dont la finalisation permettrait l'exploitation au cours du bilan logico-mathématique de l'adolescent.

BIBLIOGRAPHIE

Allaire-Dagenais, L. (1984). Etude transversale des structures opératoires formelles de combinatoire et de double réversibilité. *Canadian journal of behavioural science*, 16(3), pp. 238-248.

American Psychiatric Association, (2004). *DSM-IV-TR: Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Issy-les-Moulineaux : Masson.

Bak, F. (1997, mars). Du diagnostic de l'efficiency à celui de la compétence. *Journal des psychologues* (145).

Bee, H., & Boyd, D. (2003). *Les âges de la vie : Psychologie du développement humain* (2nd ed., pp. 250-255). Quebec : Edition du renouveau pédagogique.

Bideaud, J., Houdé, O., & Pardinielli, J.L. (1993). *L'homme en développement* (pp. 31-106). Paris : Presses Universitaires de France.

Bond, T. G. (1998). Fifty years of formal operational research : the empirical evidence. *Archives de psychologie*, 66, pp. 221-238.

Bradmetz, J. (1999). Precursors of formal thought : a longitudinal study. *British Journal of Developmental Psychology*, 17, pp. 61-81

Brin, F., Courier, C., & Lederlé, E. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie* (2nd ed.). Isbergues, France : Ortho éditions.

Campolini, C., Timmermans, A., & Vansteelandt, A. (2002). *Dictionnaire de logopédie* (4th vol.). Leuven, Belgique : Peeters.

Chalon-Blanc, A. (1997). *Introduction à Jean Piaget* (cours n°1, pp. 15-48). Paris : L'Harmattan.

Dolle, J.M. (1999). *Pour comprendre Jean Piaget* (2nd ed.). Toulouse : Dunod.

Dolle, J.M., & Bellano, D. (1989). *Ces enfants qui n'apprennent pas : diagnostic et remédiations cognitifs*. Paris : Centurion.

Ducret, J.J. (n. d.). Préface à la traduction chinoise de l'ouvrage de J. Piaget et al. (1981 et 1983). *Le possible et le nécessaire*. Paris : Presses Universitaires de France. [version électronique]. Consultable à partir de la page web <http://www.geneve.ch/sred/collaborateurs/pagesperso/d-h/ducretjean-jacques/jean-jacquesducretpub.htm>

Gibello, B. (1986). *L'enfant à l'intelligence troublée : nouvelles perspectives cliniques et thérapeutiques en psychopathologie cognitive* (2^{ème} ed.). Paris : Le Centurion.

Grégoire, J. (2005). Evaluer les troubles du calcul. In A. Van Hout, C. Meljac, & J.P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (2nd ed., pp. 331-351). Paris : Masson.

BIBLIOGRAPHIE

Inhelder, B. et Piaget, J. (1970). *De la logique de l'enfant à celle de l'adolescent* (2^{ème} ed.). Paris : Presses Universitaires de France.

Inhelder, B. et Piaget, J. (1991). La genèse des structures logiques élémentaires : classifications et sériations (5^{ème} ed.). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Jaulin-Mannoni, F. (2008). *Recherches sur les fondements d'une pédagogie authentique* (tome 1). Paris : A.P.E.C.T.

Larivée, S. (1981, mars). Le schème de la combinatoire : un schème adaptatif. *Bulletin de l'Association Mathématique du Québec*, pp. 3-11.

Longeot, F. (1979). *Echelle de développement de la pensée logique*. Issy-Les-Moulineaux : Editions scientifiques et psychologiques.

Longeot, F. (1978). *Les stades opératoires de Piaget et les facteurs de l'intelligence*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

Mazeau, M. (1999). Aspects cliniques des dyscalculies chez l'enfant. *Rééducation orthophonique*, 199, pp.113-129.

Meadows, S. (1988). Piaget's contribution to understanding cognitive development : an assessment for the late 1980s. In K. Richardson, & S. Sheldon (Eds.), *Cognitive development to adolescence* (pp. 19-32). Oxford : Pergamon press.

Meljac, C. (1980). *Batterie U.D.N. 80 : Construction et utilisation des premiers nombres*. Paris : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Meljac, C., & Lemmel, G. (1999). *UDN II : Construction et utilisation du nombre*. Paris : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Meljac, C., & Lemmel, G. (2005). Des concepts de l'enfant aux concepts du psychologue. L'UDN II un instrument révisé. In A. Van Hout, C. Meljac, & J.P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (2^{nde} ed., pp. 352-357). Paris : Masson.

Meljac, C., & Lemmel, G. (2007). *Observer et comprendre la pensée de l'enfant avec L'UDN-II* (pp. 9-199). Paris : Dunod.

Mendelsohn, P. (1981). *Logique structurale et logique procédurale : Une étude expérimentale des procédures de permutations et d'arrangements d'objets*. Thèse de troisième cycle en psychologie (version d'origine), Université de Grenoble 2, Grenoble.

Métral, E. (2008). *B-LM cycle II*. Chavanod : ORTHOpratic.

Morgado, L. & Parrat-Dayana, S. (2002). Conversations libres avec l'enfant : problèmes et méthodes. *Bulletin de Psychologie*, 55 (6) n°462, pp. 645-655.

Navarro, C. (1983). Théorie opératoire de l'intelligence et analyse des processus cognitifs de l'adulte dans la réalisation de tâches : quelques études récentes. In L. Not, *Perspectives piagétienne* (chap. 9, pp. 173-193). Toulouse : Privat.

BIBLIOGRAPHIE

Pauli, L., Nathan, H., Droz, R., & Grize, J.B. (1990). *Inventaires piagétiens : Les expériences de Jean Piaget* (vol. 4). Paris : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Piaget, J. (1971). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant* (4^{ème} ed.). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1981). *Le possible et le nécessaire* (tome I) : *L'évolution des possibles chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.

Saint-Cyr, C. (1989, mars). L'adolescent formel : un être abstrait ? *Pédagogie collégiale* 2(3), pp. 10-14.

Stroh, M., Morel, L. (2004). Rééducation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique. In T. Rousseau, *Les approches thérapeutiques en orthophonie : prise en charge des troubles du langage écrit* (2nd vol). Isbergues, France : Ortho éditions.

Teschner, G. (1993). *Les Ateliers de Raisonnement Logique : Pratique et évaluation*. Paris : Retz.

Tran-Thong, (1986). *Stades et concept de stade de développement de l'enfant dans la psychologie contemporaine* (2nd tirage). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.

Troadec, B., & Martinot, C. (2003). *Le développement cognitif : Théories actuelles de la pensée en contextes*. Paris : Belin.

Van Hout, A. (2005). Dyscalculie développementale. In A. Van Hout, C. Meljac, & J.P. Fischer, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (2nd ed., pp. 143-174). Paris : Masson.

ANNEXES

Annexe I : Les seize opérations de la logique binaire

Soit deux propositions p et q , par exemple $p =$ [cette fleur est un coquelicot] et $q =$ [cette fleur est rouge].

Si l'on s'intéresse aux liens existants entre ces deux propositions, on considèrera tout d'abord que pour chaque cas (ici chaque fleur), il existe seulement quatre possibilités :

- Soit p et q sont toutes les deux vraies (cette fleur est un coquelicot et elle est rouge) : $\mathbf{P \cdot Q}$ (p et q).
- soit p et q sont toutes les deux fausses (cette fleur n'est pas un coquelicot et n'est pas rouge) : $\mathbf{\bar{P} \cdot \bar{Q}}$ (non- p et non- q).
- Soit p est vraie et q est fausse (cette fleur est un coquelicot et n'est pas rouge) : $\mathbf{P \cdot \bar{Q}}$ (p et non- q).
- Soit p est fausse et q est vraie (cette fleur n'est pas un coquelicot et elle est rouge) : $\mathbf{\bar{P} \cdot Q}$ (non- p et q).

Si l'on construit ensuite l'ensemble des parties de ces quatre possibilités, on obtient les seize opérations de la logique binaire :

Négation absolue	0	$\mathbf{p \cdot q \vee \bar{p} \cdot q \vee p \cdot \bar{q} \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Affirmation complète
Conjonction	$\mathbf{p \cdot q}$	$\mathbf{\bar{p} \cdot q \vee p \cdot \bar{q} \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Incompatibilité
Non-implication	$\mathbf{p \cdot \bar{q}}$	$\mathbf{p \cdot q \vee \bar{p} \cdot q \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Implication
Non-implication réciproque	$\mathbf{\bar{p} \cdot q}$	$\mathbf{p \cdot q \vee p \cdot \bar{q} \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Implication réciproque
Négation conjointe	$\mathbf{\bar{p} \cdot \bar{q}}$	$\mathbf{p \cdot q \vee \bar{p} \cdot q \vee p \cdot \bar{q}}$	Disjonction
Affirmation de p	$\mathbf{p \cdot q \vee p \cdot \bar{q}}$	$\mathbf{\bar{p} \cdot q \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Négation de p
Affirmation de q	$\mathbf{p \cdot q \vee \bar{p} \cdot q}$	$\mathbf{p \cdot \bar{q} \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	Négation de q
Equivalence	$\mathbf{p \cdot q \vee \bar{p} \cdot \bar{q}}$	$\mathbf{\bar{p} \cdot q \vee p \cdot \bar{q}}$	Exclusion réciproque

Ainsi, dans notre exemple, l'équivalence signifierait que pour l'ensemble des fleurs considérées, on aurait uniquement des coquelicots rouges (p et q) et d'autres fleurs non-rouges (non- p et non- q).

Dans l'autre sens, si l'on constate que l'ensemble considéré est composé de coquelicots rouges (p et q), d'autres fleurs rouges (non- p et q) et d'autres fleurs non-rouges (non- p et non- q), on pourra induire qu'on est dans un cas d'implication (si cette fleur est un coquelicot, alors elle est rouge).

Annexe II : Elaboration de l'épreuve 3

Nous avons adapté l'épreuve 3 à partir des expérimentations de Inhelder et Piaget, assistés par Noeiting (1970). L'expérience se déroulait avec de vrais produits chimiques à partir desquels l'enfant pouvait manipuler comme il le voulait : le produit 1 était de l'acide sulfurique, le 2 de l'eau, le 3 de l'eau oxygénée et le 4 du thiosulfate. La bouteille compte-goutte, que nous avons renommé « pipette », contenait de l'iodure de potassium.

A partir de ces produits, l'enfant devait « faire du jaune ». Par ailleurs, au cours des expériences, des enfants ont été en mesure de dégager le rôle de certains des produits. En effet, les produits 1, 3 et le produit de la pipette produisent la couleur (réactifs), tandis que le produit 2 n'a aucun effet (neutre), et que le produit 4 empêche la réaction (antagoniste). Ces constats ne demandent aucune connaissance scientifique, mais font appel uniquement à la logique des propositions.

Nous avons souhaité adapter cette épreuve de façon à ce qu'elle puisse avoir lieu avec un matériel restreint et facile à se procurer, et afin qu'elle puisse être proposée sans difficulté au cours de nos expérimentations, mais également à l'avenir dans des lieux de rééducation. Nous avons tenté de reproduire au mieux les conditions des expériences de Piaget et son équipe.

Nous avons choisi la modélisation informatique pour différentes raisons. Tout d'abord, c'est un support attractif pour les enfants, et simple à utiliser. Ensuite, elle permet de rendre compte immédiatement des transformations : apparition du liquide versé, modification de la couleur... ce qui serait impossible avec un support papier-crayon. Pour des soucis de faisabilité du logiciel et de compréhension de l'expérience par l'enfant, nous avons réalisé deux versions. La première version permet de présenter l'expérience à l'enfant et de lui expliquer la consigne. La seconde version permet à l'enfant d'effectuer les expériences qu'il souhaite. L'expérimentateur lui dit qu'il est dans son propre laboratoire de façon à ce qu'il s'approprie au mieux le matériel et qu'il se sente libre d'effectuer toutes les opérations qu'il souhaite.

Le logiciel est très épuré de façon à ce qu'il y ait un minimum de distracteurs. Nous avons cependant essayé d'ajouter un maximum d'éléments afin d'aider l'enfant à se représenter l'expérience : les fioles se penchent afin de montrer que le produit a été versé, le produit apparaît dans le récipient, la pipette se vide lorsqu'elle a été utilisée et un son matérialise le liquide qui se verse. Les différentes modifications du logiciel et des consignes ont été effectuées au fur et à mesure, grâce à la passation de pré-tests avec des collégiens mais aussi avec notre entourage.

Annexe III : Epreuve préliminaire, l'usine de jetons

PASSATION

Circonstances :

L'examineur dispose devant l'enfant une feuille A4, ainsi qu'un ensemble de feutres et de stylos.

Présentation :

« Nous sommes dans une usine où l'on fabrique des jetons. On peut fabriquer des jetons ronds, des jetons carrés, des jetons triangulaires et des jetons rectangulaires ».

L'examineur dessine au stylo les différentes formes possibles, en les positionnant aléatoirement et de façon désorganisée sur la feuille.

« Ces jetons peuvent être bleus, verts ou roses ».

L'examineur réalise au feutre des taches représentant chacune des couleurs, en les positionnant aléatoirement et de façon désorganisée sur la feuille.

Question :

« Peux-tu me dessiner tous les jetons différents qu'il est possible de faire ? Tu ne peux pas faire de jetons identiques. Dis- moi quand tu as fini ».

Procédure d'aide :

« Peux-tu faire d'autres jetons ? ».

Demande d'explication :

« Tu as terminé, tu as fait tous les jetons possibles ? Peux-tu m'expliquer comment tu as fait ? ».

Demande de justification :

« Est-il possible de faire d'autres jetons ? Comment peux-tu être sûr que tu les as tous faits ? »

COTATION

Performances

E (Echec)	Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.
I (Intermédiaire)	Arrive à la solution avec aide ; reprend son raisonnement et parvient à la solution ; trouve une partie seulement des solutions.
R (Réussite)	L'enfant trouve toutes les solutions.

Stratégies

NA 1	Appariement simple : l'enfant dessine toutes les formes en un exemplaire. Il utilise une couleur différente pour chaque forme. Soit la dernière forme reprend une couleur déjà utilisée, soit l'enfant ne la fait pas et explique éventuellement qu'il ne peut aller plus loin parce qu'il « n'a plus de couleur ».
NA 2	Incomplet sans stratégie : l'enfant dessine les jetons au hasard et sans vérification.
AP 3	Complet sans stratégie.
AP 4	Stratégie émergente : l'enfant commence à fixer un critère (couleur ou taille) mais change de critère au cours de son travail.
AD 5	Fixe un critère : l'enfant fixe un critère (couleur ou taille) mais ne fait pas varier l'autre critère selon un ordre constant (par exemple il commence par les ronds en utilisant les couleurs rose, vert, puis bleu, puis il continue avec les triangles en utilisant cette fois les couleurs bleu, rose puis vert).
AD 6	Tableau cartésien à double entrée : l'enfant réalise les jetons en fixant un critère et en faisant varier l'autre selon un ordre constant, sous la forme d'un tableau cartésien à double entrée.

FEUILLE DE COTATION

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

→ **« Peux-tu m'expliquer comment tu as fait »?**

- Incapable d'évoquer son action ou son raisonnement
- Décrit uniquement son action
- Difficultés à décrire son raisonnement
- Capable de décrire son raisonnement

→ **« Est-il possible de faire d'autres jetons ? Comment peux-tu être sûr que tu les as tous faits » ?**

- Incertitude
- Conviction mais ne ressent pas le besoin d'expliquer
- Conviction mais ne voit pas comment expliquer
- Certitude argumentée mais explication maladroite
- Démonstration pertinente

Observations :

Annexe IV : Exemple d'une feuille de cotation utilisée lors des passations

FEUILLE DE COTATION DE L'ÉPREUVE 3 : LES COMBINAISONS CHIMIQUES

Initiales de l'enfant :

Date :

Combinaisons	Double	Productions verbales de l'enfant et de l'examineur	Relance	Procédure d'aide	Durée

Observations cliniques :

Productions libres :

Utilisation d'une relance :

Non Oui

Utilisation d'une procédure d'aide :

Non Oui :

Si oui, laquelle ?

Performance :

E : Ne sait pas ; abandonne ; produit une solution non-adaptée.

I : Trouve une seule des deux solutions ; trouve avec aide.

R : Trouve les deux solutions.

Stratégies :

NA 1) Tâtonnements empiriques : essaye quelques mélanges au hasard.

AP 2) Associe le produit de la pipette avec tous les produits un par un, ou les 4 à la fois. N'effectue pas de combinaisons entre les produits.

AP 3) Après quelques tâtonnements, commence à combiner des produits 2 à 2 ou 3 à 3.

AD 4) Phase d'organisation : commence à systématiser tous les possibles.

AD 5) Palier d'équilibre : systématise les combinaisons.

Eventuellement description de la stratégie :

Réponses aux questions :

« Est ce que tu as bien compris ce qu'on cherche ? ».

« Avant de commencer, peux-tu m'expliquer comment tu vas t'y prendre ? ».

« Si tu as fini, peux-tu me dire comment on peut faire du jaune ? ».

« Peux-tu me dire quel est le rôle de chacun des produits ? ».

Le sujet ne sait pas - Le sujet donne uniquement le rôle des réactifs - Le sujet dégage le rôle du produit 2 ou du produit 4 - Le sujet dégage le rôle du produit 2 (neutre) et du produit 4 (antagoniste).

« Finalement d'où vient la couleur jaune ? ».

Le sujet ne sait pas - Causalité phénoméniste ou répond au hasard - Le sujet localise la couleur dans un unique produit - Le sujet comprend que la couleur provient d'un mélange - Le sujet comprend la nécessité de la présence des produits 1 et 3 additionnés au produit de la pipette.

Annexe V : Détail des stratégies

1. Epreuve 1a : usine de vêtements à deux critères

NA 1	L'enfant n'utilise pas de stratégie évidente; ou il donne un nombre au hasard.
AP 2	Ecriture figurative : l'enfant dessine toutes les solutions ou les écrit : « jupe rouge, jupe bleue, etc. », éventuellement en abrégé.
AD 3	Stratégie additive ou multiplicative avec support concret : l'enfant écrit le nombre d'items pour chaque vêtement ou chaque couleur, par exemple : « jupes=4, pantalons=4, etc » ou « 5 rouges, 5 bleu, etc. », puis il additionne ces résultats entre eux ou fait une multiplication après dénombrement des résultats qu'il a notés ; ou bien il trouve le nombre d'items pour un vêtement ou une couleur, par exemple il écrit « 4 jupes » et généralise de immédiatement car « c'est pareil pour les autres ».
AD 4	Stratégie additive ou multiplicative de type formel : effectue directement l'opération sans écriture préalable (par exemple $5+5+5+5+5=20$ ou $4 \times 5=20$).

2. Epreuve 1b : usine de vêtements à trois critères

NA 1	L'enfant n'utilise pas de stratégie ; ou il donne un nombre au hasard.
AP 2	Ecriture figurative : l'enfant dessine toutes les solutions ou les écrit : « jupe petite rouge, jupe petite bleue, etc. », éventuellement en abrégé.
AP 3	Stratégie additive avec 2 critères fixes : L'enfant écrit le nombre pour chaque sous-bloc : « 3 robes rouges, 3 robes bleues etc. » ou bien « 4 robes petites, 4 robes moyennes, etc. », puis il additionne le total ou fait une multiplication après dénombrement des « 3 » ou des « 4 ».
AD 4	Stratégie additive ou multiplicative avec un critère fixe et support concret : l'enfant trouve le nombre d'items pour un bloc, par exemple pour un type de vêtement (12 solutions) et écrit ensuite 12 robes, 12 pulls etc. puis il additionne le total ou fait une multiplication après dénombrement des « 12 » (ou idem en trouvant le nombre pour un bloc de « verts » ou un bloc de « petits ») ; ou bien il trouve le nombre d'items pour un bloc et généralise tout de suite (« c'est la même chose pour les autres »).
AD 5	Stratégie multiplicative avec support concret : l'enfant trouve le nombre de vêtements pour un bloc (12) et généralise immédiatement (« c'est la même chose pour les autres »).
AD 6	Stratégie additive ou multiplicative de type formel : l'enfant effectue directement l'opération, éventuellement en ré-utilisant le résultat trouvé au subtest précédent, sans production écrite préalable (par exemple $3 \times 20=60$ ou $12+12+12+12+12=60$).

3. Epreuve 2a : permutations de trois jetons

NA 1	L'enfant ne sait pas comment faire.
AP 2	Tâtonnements empiriques : il n'y a pas d'opération maintenue sur plus de deux solutions, l'enfant doit vérifier à chaque fois sa solution est bien nouvelle.
AD 3	Stratégie par algorithme : l'enfant exprime des liens entre les solutions, par exemple il décale d'un cran à chaque fois, ou garde un jeton fixe et inverse les deux autres.

4. Epreuve 2b : permutations de quatre jetons

NA 1	Tâtonnements empiriques : il n'y a pas d'opération maintenue sur plus de deux solutions, l'enfant doit vérifier à chaque fois que la solution qu'il fait est bien nouvelle.
AP 2	Procédures algorithmiques: l'enfant suit un algorithme (par exemple, décale d'un cran chaque solution) jusqu'à ce qu'il ne puisse plus continuer car il referait les mêmes solutions. Puis il essaye « autre chose » (solution au hasard) et continue avec un tout nouvel algorithme, etc. A la fin il dénombre toutes les solutions qu'il a produites.
AP 3	Procédures complexes (algorithme multiplicatif) : l'enfant réalise une série de solutions suivant un algorithme. Puis il applique un autre algorithme à chacune de ses précédentes solutions (par exemple, commence par décaler d'un cran, puis réalise le « miroir » de chacune de ses solutions). Nous ajoutons à ces procédures celle qui consiste à réaliser tous les possibles avec un élément fixe (généralement le premier jeton) par tâtonnements. Dans ce cas, l'enfant va généralement réaliser une seule série et multiplier le résultat trouvé par 4, ou bien compter les solutions trouvées pour une série et chercher à réaliser le même nombre pour les trois autres. Dans ce sens, il s'agit bien d'un algorithme multiplicatif.
AD 4	Procédure à plan unique : l'enfant réalise plusieurs séries de termes en utilisant à chaque fois le même algorithme. Le passage d'une série à l'autre est contrôlé par un second algorithme fixe. Par exemple, l'enfant réalise toutes les solutions qu'il pense possibles commençant par un jeton bleu grâce à un algorithme, puis il réalise les solutions commençant par un jeton rouge en procédant de la même manière à l'intérieur de la série. Là encore, l'enfant va parfois réaliser une seule série et généraliser à l'ensemble.
AD 5	Métaprocedure : raisonnement formel. L'enfant ne fait pas toutes les solutions, il en déduit le nombre en utilisant le résultat trouvé aux permutations de 3 jetons ou en utilisant un calcul formel.

5. Epreuve 3 : combinaisons chimiques

NA 1	Tâtonnements empiriques : l'enfant effectue quelques mélanges au hasard.
AP 2	L'enfant associe le produit de la pipette avec tous les produits 1 par 1, ou les 4 à la fois. Il n'effectue pas de combinaisons entre les produits.
AP 3	Après quelques tâtonnements, l'enfant commence à combiner les produits 2 à 2 ou 3 à 3 sans que les solutions ne soient systématisées.
AD 4	Phase d'organisation : l'enfant commence à organiser tous les possibles mais la méthode n'est pas encore assez rigoureuse ou l'enfant oublie un type de combinaison (par exemple ne pense pas à combiner 3 à 3).
AD 5	Palier d'équilibre : les combinaisons sont systématisées, l'enfant effectue tous les possibles. Les éventuels oublis sont dus à un défaut d'attention.

Annexe VI : Eléments nécessaires à la passation des épreuves

Les personnes désirant proposer à un sujet les épreuves du protocole de combinatoire pourront utiliser les descriptions des passations situées dans le corps du mémoire.

Afin de coter les épreuves, elles pourront remplir des fiches de cotation sur le modèle ci-dessous en s'aidant des explications de la cotation des performances se trouvant dans le corps du mémoire, ainsi que des explications détaillées de la cotation des stratégies se trouvant dans l'annexe IV.

Nous avons ajouté la cotation d'une question supplémentaire d'anticipation à l'épreuve 3 suite à son importance rapportée dans la partie discussion.

FEUILLE DE COTATION DE L'ÉPREUVE DE L'USINE DE VÊTEMENTS

◆ USINE DE VÊTEMENTS A 2 CRITERES

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui, laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

→ Peux-tu m'expliquer comment tu as fait?

- Incapable d'évoquer son action ou son raisonnement
- Décrit uniquement son action
- Difficultés à décrire son raisonnement
- Capable de décrire son raisonnement

→ Es-tu sûr(e) de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr(e) ?

- Incertitude
- Conviction mais ne ressent pas le besoin d'expliquer
- Conviction mais ne voit pas comment expliquer
- Certitude argumentée mais explication maladroite
- Démonstration pertinente

Observations :

◆ **USINE DE VETEMENTS A 3 CRITERES**

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui, laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

→ Peux-tu m'expliquer comment tu as fait?

- Incapable d'évoquer son action ou son raisonnement
- Décrit uniquement son action
- Difficultés à décrire son raisonnement
- Capable de décrire son raisonnement

→ Es-tu sûr(e) de tous les avoir ? Comment peux-tu en être sûr(e) ?

- Incertitude
- Conviction mais ne ressent pas le besoin d'expliquer
- Conviction mais ne voit pas comment expliquer
- Certitude argumentée mais explication maladroite
- Démonstration pertinente

Observations :

FEUILLE DE COTATION DE L'ÉPREUVE DES PERMUTATIONS DE JETONS

◆ PERMUTATIONS DE 3 JETONS

Phase d'anticipation : Non Oui

Nombre de solutions trouvées :

Phase de réalisation :

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui, laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

→ Peux-tu m'expliquer comment tu as fait?

- Incapable d'évoquer son action ou son raisonnement
- Décrit uniquement son action
- Difficultés à décrire son raisonnement
- Capable de décrire son raisonnement

→ Tu es sûr(e) de toutes les avoir ? Comment le sais-tu ?

- Incertitude
- Conviction mais ne ressent pas le besoin d'expliquer
- Conviction mais ne voit pas comment expliquer
- Certitude argumentée mais explication maladroite
- Démonstration pertinente

Observations :

◆ PERMUTATIONS DE 4 JETONS

Anticipation : Non Oui

Nombre de solutions trouvées :

Réalisation :

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui, laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

→ **Peux-tu m'expliquer comment tu as fait?**

- Incapable d'évoquer son action ou son raisonnement
- Décrit uniquement son action
- Difficultés à décrire son raisonnement
- Capable de décrire son raisonnement

→ **Tu es sûr(e) de toutes les avoir ? Comment le sais-tu ?**

- Incertitude
- Conviction mais ne ressent pas le besoin d'expliquer
- Conviction mais ne voit pas comment expliquer
- Certitude argumentée mais explication maladroite
- Démonstration pertinente

Observations :

◆ PERMUTATION DE 5 JETONS ET GENERALISATION

Nombre de solutions trouvées :

Explication donnée :

Observations :

FEUILLE DE COTATION DE L'ÉPREUVE DES COMBINAISONS CHIMIQUES

Utilisation d'une procédure d'aide : Non Oui
Si oui laquelle ?

Nombre de solutions trouvées :

Performance :

Stratégie(s) :

Explications verbales

Anticipation :

→ Peux-tu me dire comment tu vas t'y prendre pour chercher ?

→ Comment peut-on faire du jaune ?

→ Relance : « Est-ce-que tu pourrais me dire à quoi sert chacun des produits ? » quel est le rôle de chacun des produits ? quel effet a chacun des produits ? »

- Ne sait pas
- Donne uniquement le rôle des réactifs
- Dégage le rôle du produit 2 ou du produit 4
- Dégage le rôle du produit 2 et du produit 4

→ Enfinement d'où vient la couleur jaune ?

- Ne sait pas
- Causalité phénoméniste
- Localisation dans un seul produit
- Compréhension du rôle du mélange
- Compréhension de la nécessité du mélange 1+3+pipette

Observations :

Annexe VII : Résultats bruts

Groupe	Sujets	TL / T	E1a perf	E1a stratégie	E1b perf	E1b stratégie	E2a perf	E2a stratégie	E2b perf	E2b stratégie	E3 perf	E3 stratégie
a	LM6	TL	R	AD3	E	AP3	R	AD3	I	AP2	I	NA1
a	LMB6	T	R	AD4	I	AD5	I	AD3	R	AD4	R	AD4
a	AB6f	T	R	AD3	I	AD4	R	AD3	I	AP3	I	AP3
a	ML6	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AD4	R	AD4
b	SR6	TL	R	AP2	R	AP2	R	AD3	I	AP3	R	NA1
b	TR6	T	R	AP2	I	AD5	I	AD3	I	AP2	R	AD4
b	NB6	T	R	AD4	R	AD5	I	AD3	I	AP2	R	AD4
b	AB6m	T	R	AD4	R	AD5	I	AD3	I	AP3	I	NA1
c	AB5	TL	I	AD3	R	AP2	I	AP2	I	AP3	I	AP3
c	MP5	T	R	AD4	R	AD5	I	AD3	E	AP2	R	AD5
c	MD5	T	R	AD4	R	AD4	R	AP2	I	AP3	R	AD4
c	SA5	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AD4	I	AD4
d	LB5	TL	R	AP2	I	AP2	R	AD3	I	AD4	I	AP3
d	ED5	T	R	AD4	R	AD5	I	AD3	I	AP3	I	AD4
d	RV5	T	I	AD3	R	AD4	I	AP2	I	NA1	I	AP3
d	NC5	T	R	AP2	I	AP2	I	AD3	I	AP2	I	NA1
e	EB4	TL	R	AD3	R	AD4	R	AD3	E	AP3	I	AP3
e	CR4	T	R	AD4	I	AD5	R	AD3	I	AP2	I	AD4
e	CB4	T	R	AD4	R	AD5	I	AD3	I	AP2	I	AD4
e	PD4	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AD4	I	AD4
f	LA4	TL	R	AD3	R	AD5	R	AD3	R	AD4	I	AP3
f	JA4	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	I	AD4	R	AD4
f	CN4	T	R	AD3	R	AD4	R	AP2	E	AP3	I	AP3
f	KR4	T	R	AD4	I	AD5	I	AP2	I	AP2	R	AP3
g	MB3	TL	R	AD3	R	AP3	I	AP2	R	AD4	I	AP3
g	LB3	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AD4	I	AP3
g	MG3	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AP3	R	AD4
g	AG3	T	R	AD4	R	AD5	R	AD3	R	AD4	I	AP3
h	CR3	TL	R	AD4	E	AD5	I	AD3	I	AP3	I	AP3
h	CP3	T	R	AD4	I	AD4	R	AD3	R	AD4	R	AD4
h	CQ3	T	R	AP2	R	AD4	I	AD3	I	AP2	I	AD4
h	AK3	T	R	AP2	R	AD4	R	AD3	I	AP2	I	AD4

Tableau 33 : Résultats bruts de l'ensemble des sujets aux différentes épreuves

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1. Liste des Tableaux

<u>Tableau1</u> : Tableau récapitulatif de la population en fonction des groupes d'appariement.....	31
<u>Tableau2</u> : Ordre de passation des épreuves	34
<u>Tableau3</u> : Performances à l'épreuve 1a	44
<u>Tableau4</u> : Stratégies à l'épreuve 1a	44
<u>Tableau5</u> : Performances à l'épreuve 1b.....	44
<u>Tableau6</u> : Stratégies à l'épreuve 1b	45
<u>Tableau7</u> : Performances à l'épreuve 2a	45
<u>Tableau8</u> : Stratégies à l'épreuve 2a	45
<u>Tableau9</u> : Performances à l'épreuve 2b.....	45
<u>Tableau10</u> : Stratégies à l'épreuve 2b	46
<u>Tableau11</u> : Performances à l'épreuve 3.....	46
<u>Tableau12</u> : Stratégies à l'épreuve 3	46
<u>Tableau13</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole	50
<u>Tableau14</u> : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole	51
<u>Tableau15</u> : Moyennes et écarts-types des durées de passation pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets)	52
<u>Tableau16</u> : Qualité des explications fournies par la population TL et par la population TV sur l'ensemble du protocole	52

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<u>Tableau17</u> : Qualité des justifications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole	53
<u>Tableau18</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a	55
<u>Tableau19</u> : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a.....	55
<u>Tableau20</u> : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1a.....	56
<u>Tableau21</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b.....	56
<u>Tableau22</u> : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b.....	57
<u>Tableau23</u> : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 1b.....	57
<u>Tableau24</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2a	58
<u>Tableau25</u> : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2a	58
<u>Tableau26</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b.....	59
<u>Tableau27</u> : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b.....	59
<u>Tableau28</u> : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 2b.....	60
<u>Tableau29</u> : Répartition des performances cotées Echecs (E), Intermédiaires (I) et Réussites (R) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3.....	61

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<u>Tableau30</u> : Répartition des stratégies cotées Non-Adaptées (NA), Approximatives (AP) et Adaptées (AD) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3	61
<u>Tableau31</u> : Répartition des différentes stratégies pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), à l'épreuve 3.....	62
<u>Tableau32</u> : Répartition des réponses à la question « Quel est le rôle de chacun des produits ? » pour la population TL et pour la population TV	62
<u>Tableau33</u> : Résultats bruts de l'ensemble des sujets aux différentes épreuves.....	95

2. Liste des Figures

<u>Figure1</u> : Les structures logico-mathématiques du stade concret au stade formel, d'après Longeot (1978) et Mendelsohn (1981).....	13 verso
<u>Figure2</u> : Exemple d'une structure de réseau : ensemble des parties d'un ensemble de 3 éléments a, b et c, d'après Mendelsohn (1981).....	13 verso
<u>Figure3</u> : Version de démonstration du logiciel de l'épreuve 3	39 verso
<u>Figure4</u> : Version de recherche du logiciel de l'épreuve 3.....	39 verso
<u>Figure5</u> : Comparaison de la part de performances cotées Réussites (R), Intermédiaires (I) et Echecs (E) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole.....	49 verso
<u>Figure6</u> : Comparaison de la part de stratégies Adaptées (AD), Approximatives (AP) et Non-adaptées (NA) pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets), sur l'ensemble du protocole	50 verso
<u>Figure7</u> : Comparaison de la durée moyenne de passation totale, en minutes, pour les deux populations.....	51 verso
<u>Figure8</u> : Comparaison de la qualité des explications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole	51 verso
<u>Figure9</u> : Comparaison de la qualité des justifications fournies par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) sur l'ensemble du protocole	52 verso
<u>Figure10</u> : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1a	54 verso

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<u>Figure11</u> : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1a.....	54 verso
<u>Figure12</u> : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1a.....	55 verso
<u>Figure13</u> : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24) à l'épreuve 1b.....	55 verso
<u>Figure15</u> : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 1b.....	56 verso
<u>Figure16</u> : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24) à l'épreuve 2a.....	57 verso
<u>Figure17</u> : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2a.....	57 verso
<u>Figure18</u> : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24) à l'épreuve 2b.....	58 verso
<u>Figure19</u> : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2b.....	58 verso
<u>Figure20</u> : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 2b.....	59 verso
<u>Figure21</u> : Comparaison des performances de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24) à l'épreuve 3.....	60 verso
<u>Figure22</u> : Comparaison de l'adaptation des stratégies de la population TL (8 sujets) et de la population TV (24 sujets) à l'épreuve 3.....	60 verso
<u>Figure23</u> : Comparaison de la répartition des stratégies utilisées par la population TL (8 sujets) et par la population TV (24 sujets) à l'épreuve 3.....	61 verso
<u>Figure24</u> : Récapitulatif des performances à chaque épreuve pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets).....	63
<u>Figure25</u> : Récapitulatif de l'adaptation des stratégies à chaque épreuve pour la population TL (8 sujets) et pour la population TV (24 sujets).....	63

TABLE DES MATIERES

ORGANIGRAMMES	2
1. Université Claude Bernard Lyon1	2
1.1. Secteur Santé :	2
1.2. Secteur Sciences :	2
1.3. Secteur Sciences et Technologies :	3
2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation	4
FORMATION ORTHOPHONIE	4
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	6
INTRODUCTION	8
PARTIE THEORIQUE	9
I. Cadre théorique piagétien	10
1. La théorie piagétienne : principes et méthodes	10
1.1. Les mécanismes du développement de l'intelligence	10
1.2. L'entretien piagétien	10
2. Le développement de la pensée logique : de la naissance à l'adolescence	11
2.1. De l'action vers l'opérativité	11
2.1.1. Stade sensori-moteur : stade I.....	11
2.1.2. Stade pré-opératoire : stade II.....	12
2.2. Des opérations concrètes aux opérations formelles	12
2.2.1. Le stade des opérations concrètes : stade III	12
2.2.2. Le stade formel : stade IV	13
a. Les grandes structures du stade formel	13
b. Le stade formel : un niveau réservé à une élite ?	14
3. Des apports ultérieurs à la théorie de Jean Piaget	15
3.1. Le sujet clinique.....	15
3.2. La variabilité de l'utilisation des stratégies	15
II. Les troubles de la logique, un aspect important de la dyscalculie	16
1. La dyscalculie développementale	16
1.1. Définition scientifique de la dyscalculie développementale.....	16
1.2. Une définition clinique de la dyscalculie.....	17
1.3. L'approche piagétienne au sein de la dyscalculie.....	17
1.4. Dyscalculie et troubles de la logique en orthophonie	17
2. Evaluer les troubles de la logique	18
2.1. Evaluer les troubles de la logique grâce au modèle piagétien	18
2.1.1. Les apports du modèle piagétien	18
2.1.2. Des contributions supplémentaires au modèle pour le diagnostic.....	18
a. Une hétérogénéité clinique.....	18
b. Standardisation et normalisation	19
2.1.3. L'UDN II, exemple de test standardisé inspiré du courant piagétien.....	19
2.2. Evaluer les troubles de la logique en orthophonie	20
2.2.1. Principes généraux	20
2.2.2. Quelques principes lors de l'examen des troubles de la logique	20
3. Les épreuves évaluant le stade formel	21
3.1. Les épreuves de Piaget.....	21

TABLE DES MATIERES

3.2. L'UDN II (Meljac & Lemmel, 1999)	21
3.3. L'EPL (Longeot, 1979)	21
III. Envisager tous les possibles : la pensée combinatoire	21
1. Qu'est-ce que la pensée combinatoire ?.....	21
1.1. L'ouverture du champ des possibles.....	21
1.2. La combinatoire : envisager un champ restreint de possibilités	22
1.3. La combinatoire en orthophonie	22
2. Les opérations relevant de la pensée combinatoire.....	23
2.1. Le produit cartésien	23
2.2. La combinatoire mathématique formelle.....	23
2.3. Combinatoire et logique propositionnelle.....	24
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	25
PARTIE EXPERIMENTALE	28
I. Population	29
1. Groupe d'adolescents présentant des troubles de la logique.....	29
1.1. Critères d'inclusion.....	29
1.2. Critères d'exclusion	29
1.3. Sujets observés.....	29
2. Groupe témoin d'adolescents tout-venants	29
2.1. Critères d'inclusion.....	30
2.2. Critère d'exclusion.....	30
2.3. Sujets observés.....	30
3. Tableau récapitulatif de l'appariement.....	31
II. Protocole	31
1. Elaboration du protocole	32
1.1. Objectifs du protocole.....	32
1.2. Choix du mode de passation	32
1.3. Sources.....	32
1.4. Elaboration des épreuves du protocole	33
2. Modalités de passation	33
3. Principes de passation	34
3.1. Ordre de passation	34
3.2. Procédures d'étayage supplémentaires	34
4. Epreuves.....	35
4.1. Matériel.....	35
4.2. Passation des épreuves.....	35
4.2.1. Epreuve 1 : usine de vêtements	35
a. Circonstances	35
b. Epreuve 1a	35
c. Epreuve 1b	36
4.2.2. Epreuve 2 : permutations de jetons	36
a. Circonstances	36
b. Epreuve 2a	37
c. Epreuve 2b	38
d. Epreuve 2c	39
4.2.3. Epreuve 3 : combinaisons chimiques	39
a. Circonstances	39
b. Epreuve 3	39
5. Compétences évaluées	41

TABLE DES MATIERES

III. Outils d'observation.....	42
1. Fiches de renseignements.....	42
2. Fiches de cotation.....	42
2.1. Double cotation quantitative des épreuves	42
2.1.1. Système de cotation.....	42
a. Cotation des performances.....	42
b. Cotation des stratégies	43
2.1.2. Description des conduites attendues à chaque épreuve	44
a. Epreuve 1a (usine de vêtements à deux critères)	44
b. Epreuve 1b (usine de vêtements à trois critères).....	44
c. Epreuve 2a (permutations de trois jetons).....	45
d. Epreuve 2b (permutations de quatre jetons).....	45
e. Epreuve 3 (combinaisons chimiques).....	46
2.2. Autres notations	46
2.2.1. Durée de passation.....	46
2.2.2. Réponses aux questions.....	46
2.2.3. Corpus libre	47
PRESENTATION DES RESULTATS.....	48
I. Préalable.....	49
1. Outils statistiques	49
2. Explications nécessaires à la lecture des résultats.....	49
II. Comparaison des données concernant les deux populations sur l'ensemble du protocole	50
1. Comparaison des performances	50
1.1. Au sein de la population générale.....	50
1.2. Au sein des groupes d'appariement.....	50
2. Comparaison de l'adaptation des stratégies utilisées	50
2.1. Au sein de la population générale.....	51
2.2. Au sein des groupes d'appariement.....	51
3. Résultats qualitatifs sur l'ensemble du protocole.....	51
3.1. Stratégies préférentielles.....	51
3.1.1. Temps de réalisation.....	51
3.1.2. Explications et justifications.....	52
a. Explications	52
b. Justifications	52
3.1.3. Comportements spécifiques observés.....	53
III. Présentation des données recueillies à chaque épreuve	53
1. Epreuve 1a : Usine de vêtements à 2 critères.....	55
1.1. Performances	55
1.2. Adaptation des stratégies	55
1.3. Stratégies préférentielles.....	55
2. Epreuve 1b : usine de vêtements à 3 critères	56
2.1. Performances	56
2.2. Adaptation des stratégies	56
2.3. Stratégies préférentielles.....	57
3. Epreuve 2a (permutations de 3 jetons).....	57
3.1. Performances	58
3.2. Adaptation des stratégies et stratégies préférentielles	58
4. Epreuve 2b (permutations de 4 jetons).....	58
4.1. Performances	59

TABLE DES MATIERES

4.2.	Adaptation des stratégies	59
4.3.	Stratégies préférentielles.....	59
4.4.	Comportements spécifiques observés.....	60
5.	Epreuve 2c (généralisation des permutations à 5, 10 puis n éléments).....	60
6.	Epreuve 3 (combinaisons chimiques)	60
6.1.	Performances	61
6.2.	Adaptation des stratégies	61
6.3.	Stratégies préférentielles.....	61
6.4.	Logique des propositions.....	62
7.	Récapitulatif des résultats aux différentes épreuves	63
7.1.	Performances	63
7.2.	Adaptation des stratégies	63
DISCUSSION DES RESULTATS.....		64
I.	Analyse de la comparaison entre les sujets TL et TV	65
1.	Analyse du niveau de performance.....	65
2.	Analyse du niveau d'adaptation des stratégies utilisées.....	65
3.	Analyse qualitative.....	65
3.1.	Stratégies qualitativement différentes.....	65
3.2.	Durée de passation	66
3.3.	Qualité des explications et justifications	67
4.	Validation de l'hypothèse	67
II.	Analyse de la pertinence des différentes épreuves.....	68
1.	Remarques générales sur la passation des épreuves.....	68
2.	L'usine de vêtements	68
2.1.	Analyse des résultats.....	68
2.2.	Conclusion	69
3.	Les permutations de jetons.....	69
3.1.	Adaptation de l'épreuve.....	69
3.2.	Analyse des résultats.....	69
3.3.	Conclusion	70
4.	Les combinaisons chimiques	71
4.1.	Adaptation de l'épreuve.....	71
4.2.	Analyse des résultats.....	71
4.3.	Conclusion.....	72
5.	Validation des hypothèses.....	72
III.	Limites de notre étude.....	73
1.	Limites liées à notre population	73
1.1.	Population de sujets à troubles logiques	73
1.2.	Population de sujets tout-venants	73
2.	Limites de notre expérimentation	73
2.1.	Limites du protocole	73
2.2.	Limites des différentes épreuves.....	74
IV.	Apports et perspectives pour l'orthophonie	75
1.	Intérêt de la forme de la cotation.....	75
2.	Utilisation ultérieure des épreuves	75
2.1.	Epreuve de l'usine de vêtements	75
2.2.	Epreuve de permutations de jetons	76
2.3.	Epreuve de combinaisons chimiques.....	76

TABLE DES MATIERES

CONCLUSION.....	77
BIBLIOGRAPHIE.....	78
ANNEXES.....	81
Annexe I : Les seize opérations de la logique binaire.....	82
Annexe II : Elaboration de l'épreuve 3.....	83
Annexe III : Epreuve préliminaire, l'usine de jetons.....	84
Annexe IV : Exemple d'une feuille de cotation utilisée lors des passations.....	86
Annexe V : Détail des stratégies.....	88
1. Epreuve 1a : usine de vêtements à deux critères.....	88
2. Epreuve 1b : usine de vêtements à trois critères.....	88
3. Epreuve 2a : permutations de trois jetons.....	88
4. Epreuve 2b : permutations de quatre jetons.....	89
5. Epreuve 3 : combinaisons chimiques.....	89
Annexe VI : Eléments nécessaires à la passation des épreuves.....	90
Annexe VII : Résultats bruts.....	95
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	96
1. Liste des Tableaux.....	96
2. Liste des Figures.....	98
TABLE DES MATIERES.....	100

Camille Durel

Elsa Leiser

EVALUER LA PENSEE COMBINATOIRE : Etude auprès de collégiens à troubles logiques et tout-venants

104 Pages

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2009

RESUME

A ce jour, l'évaluation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique est un domaine encore peu étudié. En particulier, les orthophonistes manquent d'outils standardisés évaluant la pensée logique de l'adolescent.

Partant de ce constat, et en nous situant au sein d'un cadre théorique piagétien, nous avons rassemblé et adapté trois épreuves de combinatoire dans le but de les proposer à des collégiens présentant des troubles logiques (TL) et à des collégiens tout-venants (TV), de la 6^{ème} à la 3^{ème}. Ces épreuves explorent différents niveaux de combinatoire : le produit cartésien (épreuve de l'usine de vêtements), la combinatoire mathématique (les permutations de jetons et les combinaisons chimiques) et la combinatoire propositionnelle (les combinaisons chimiques).

Nous avons établi des passations standard et avons étudié pour tous les sujets : les performances, les stratégies employées ainsi que différents éléments qualitatifs, à chacune des épreuves. Nous nous sommes demandées quelles différences apparaîtraient entre nos deux populations, et quelles épreuves seraient pertinentes pour le bilan logique de l'adolescent.

Les sujets TL ont présenté des performances proches de celles des sujets TV, mais ont utilisé des stratégies moins adaptées et ont montré au niveau qualitatif des difficultés particulières à résoudre ces épreuves. L'épreuve de permutations de jetons s'est révélée moins pertinente que les deux autres épreuves, qui ont permis de mettre en évidence des éléments plus nets de différenciation des deux populations et ont semblé adaptées à l'évaluation des troubles logiques du collégien.

MOTS-CLES

Evaluation - combinatoire - logico-mathématique - adolescent - stade formel - stratégie

MEMBRES DU JURY

Agnès Bo

Myriam Di-Qual

Béatrice Théron

MAITRES DE MEMOIRE

Corine Gauthier

Emmanuelle Métral

DATE DE SOUTENANCE

2 juillet 2009
