European Journal of Psychology of Education
1986, Vol. I, n.º 1, 41-58

Impact des formulations sur la résolution de problèmes additifs chez l'enfant de 6 a 10 ans

Michel Fayol
Hervé Abdi
Université de Dijon

Nous avons conduit une expérience afin d'étudier l'impact des formulations des énoncés sur la résolution de problèmes arithmétiques additifs chez des enfants de 6 à 10 ans. Trois variables ont été contrôlées, toutes inter-sujets. Tous les problèmes suivaient le même patron sous-jacent — un état initial (Ei), deux transformations (T1 et T2), un état final (Ef) — mais l'inconnue était tantôt Ef (problèmes S1) tantôt Ei (S2). Les transformations étaient soit formulées en second (01) soit en premier (02). Enfin, la question se trouvait en position soit finale (Q1) soit initiale (Q2).

Cent quatre vingt douze sujets (64 six, huit et dix ans) ont été soumis chacun à huit problèmes de la même modalité. Les difficultés de calcul numérique étaient contrôlées de manière à les rendre approximativement «proportionnelles» à l'âge.

Les résultats obtenus à partir d'une analyse des scores puis des procédures mettent en évidence que: a) Les problèmes portant sur la recherche de l'état final (S1) sont facilement et précocement résolus alors qu'une nette progression se manifeste avec ceux S2. b) Le placement en tête des transformations (02) et de la question (Q2) entraîne un accroissement systématique et très significatif des scores. c) Les procédures utilisées pour la résolution sont, à 6 et 8 ans, très dépendantes des formulations.

Nous proposons une interprétation en termes de connaissances disponibles en M.L.T. et de limitations de la capacité de traitement en mémoire de travail.

Jusqu'à une période récente, les recherches concernant la résolution de problèmes arithmétiques considéraient le plus souvent qu'intervenaient seulement deux paramètres indépendants: d'une part, le «calcul numérique» renvoyant au comptage des opérations (au sens trivial de ce terme) et, d'autre part, le «calcul relationnel» correspondant à la représentation mentale des relations entre éléments de la situation décrite par l'énoncé du problème (Conne, 1985; Vergnaud, 1982). Cette perspective correspondait au souci de mettre en évidence des «heuristiques générales indépendantes du contenu de la tâche» (Caillot, 1984, p. 257). Elle

Cette recherche a pu être conduite grâce à une subvention de l'Etablissement Public Régional de Bourgogne (Contrat EPR 1982-1984) et à l'aide consécutive à la Recommandation par la Direction de la Recherche du Ministère de l'Education Nationale. Nous remercions C. Bastien et J. Brun pour leurs commentaires à propos d'une première version de cet article.

tendait donc, au moins à ses débuts, à écarter tout impact potentiel de facteurs considérés comme secondaires.

Depuis quelques années, les points de vue ont considérablement évolué. Même si certains travaux expérimentaux ont conforté la thèse selon laquelle seules comptaient les organisations sous jacentes mises en évidence par le «calcul relationnel» (Nesher, 1982) [1], des recherches relativement nombreuses ont démontré que d'autres facteurs intervenaient: les «contenus» référés dans l'énoncé (Dumont, 1982; Richard, 1984) mais aussi les formulations (cf. pour une revue, Riley, Greeno & Keller, 1983). Pourtant, l'impact de ces dernières a surtout été avéré dans les problèmes ne relevant pas strictement de l'arithmétique. C'est ainsi que Clark (1969) s'est attaché au raisonnement syllogistique, Hudson (1983) à la mise en correspondance, etc...

La rareté des recherches conduites afin de déterminer le rôle éventuel joué par les formulations semble provenir de ce que l'on manquait, jusqu'à ces dernières années, d'éléments théoriques susceptibles d'expliquer l'impact de ce facteur. Or, les progrès de la psycholinguistique textuelle d'une part, ceux de la modélisation des systèmes de traitement de l'information d'autre part permettent désormais d'aborder au moins partiellement cette question.

En ce qui concerne le traitement des informations, il apparaît possible de construire un modèle, sans doute encore sommaire, susceptible de rendre compte de la sélection et de la gestion des procédures de résolution (cf. Figure 1). En effet, un sujet, confronté à un problème donné, dispose ou non en mémoire à long terme (M.L.T.) des connaissances lexicales et notionnelles lui permettant de se construire une représentation de la situation décrite par l'énoncé (un «schéma»; cf. Caillot, 1984; Escarabajal, 1984). L'élaboration de ce «calcul relationnel» s'avère sans doute plus ou moins rapide et facile selon l'expérience passée du sujet face à des problèmes proches ou similaires. Indubitablement, la pratique a un effet (Frederiksen, 1984; Sweller, Mawer & Ward, 1983). Dans cette perspective, un enfant de 10 ans se révèle mieux armé qu'un autre de 6 ou 7 ans pour faire face à certains exercices.

Le «calcul relationnel» une fois effectué, le sujet doit ensuite procéder aux divers «calculs numériques» nécessaires. Ceux-ci exigent la mise en oeuvre d'opérations — additions ou soustractions pour ce qui concerne le présent travail — qui pourront soit aboutir à des résultats directement récupérables en M.L.T. («faits numériques» du type $3+4=7$) soit obliger à recourir à des connaissances algorithmiques, elles aussi en M.L.T. (algorithmes de comptage, algorithme de la soustraction, etc...), dont l'application devra être contrôlée pour conduire à la solution.

A ce niveau, qui correspond au composant M.L.T. de la figure 1, deux sources d'échec peuvent se manifester. Le sujet peut soit ne pas parvenir à construire le «calcul relationnel» ou en élaborer un non pertinent (par exemple additif plutôt que soustractif) soit ne pas disposer des connaissances algorithmiques nécessaires à la résolution (par exemple, il ne sait pas diviser par 7). Cette dernière hypothèse ne sera pas envisagée dans le travail qui suit. Nous avons en effet cherché à construire le matériel de sorte qu'un tel obstacle ne surgisse pas.

Les considérations qui précèdent conduisent à considérer qu'un problème se trouvera d'autant mieux et d'autant plus vite résolu que le sujet se voit en mesure de récupérer et sélectionner en M.L.T. la (ou les) représentation pertinente ainsi que les connaissances algorithmiques et/ou factuelles associées. S'il n'y parvient

[1] Dans un travail récent, d'accès difficile, il semblerait que Nesher nuancerait sa position (cf. Teubal & Nesher, 1983).

Figure 1: *Schéma procédural de résolution des problèmes arithmétiques*

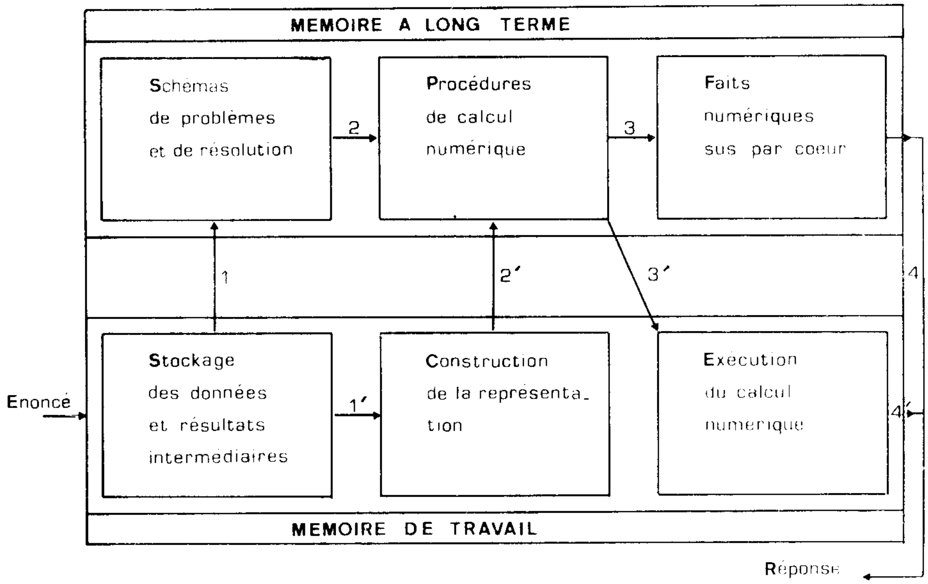


Figure 1: *Procedural flow-chart in solving arithmetical problems.*

pas, il lui faut alors procéder, en mémoire de travail (M.T.) à l'élaboration et/ou à la gestion-exécution des calculs relationnel et numérique.

Or, la M.T. se trouve déjà sollicitée, surtout dans le cadre de problèmes présentés oralement, sans possibilité, pour le sujet, de recourir à des aides écrites ou matérielles. C'est en effet à son niveau qu'ont lieu (Hitch, 1980; Baddeley & Hitch, 1974) le codage et le stockage des informations extraites de l'énoncé lu (ici par l'expérimentateur) au fur et à mesure de leur audition et de celles émanant des résultats intermédiaires des «calculs numériques». S'y ajoutent: éventuellement, l'exécution et le contrôle des algorithmes d'opérations lorsque les «faits numériques» ne sont pas directement récupérables; la construction du «calcul relationnel» et son application aux données dès lors qu'aucun «schème» de résolution n'a pu être directement récupéré en M.L.T.

Si l'on considère, par ailleurs, que la capacité de la mémoire de travail reste *constante* et *limitée* pour un niveau donné de développement, il apparaît que tout accroissement «d'espace mental» requis par l'un quelconque des composants ci-dessus évoqués tend à diminuer d'autant celui subsistant pour les autres (Kaye, 1985). Il en résulte une compétition entre les divers types d'informations ou de traitements, compétition qui entraîne un affaiblissement des performances. Il découle de cette conception que trois facteurs au moins devraient aboutir à une amélioration significative des performances:

1 — La familiarité avec un type donné de problème, c'est-à-dire avec le «calcul relationnel» et les contenus auxquels il s'applique, permet une récupération directe en M.L.T. du (ou des) schème de résolution et, donc, une diminution de la charge en M.T., autorisant ainsi le stockage et le traitement de plus d'informations.

2 — La disponibilité en M.L.T. de «faits numériques» stockés (cf. «tables d'addition» par exemple) et, par là-même, directement accessibles sans «calcul nu-

mérique» décharge d'autant la M.T. Celle-ci n'a plus alors à supporter l'exécution et le contrôle des opérations.

3 — Plus généralement, toute méthode tendant à accélérer la récupération en M.L.T. des schèmes de résolution et des algorithmes ou à faciliter le traitement rapide des données diminue les risques de surcharge en M.T.

Dans le cadre du présent travail, seul le dernier point sera particulièrement abordé. C'est en effet à ce niveau que peut intervenir la formulation.

Tout énoncé de problème est un texte et se trouve, de ce fait, soumis aux mêmes contraintes de compréhension (Kintsch & Greeno, 1985). En particulier, le sujet auditeur/lecteur doit en élaborer une représentation cognitivo-sémantique globale susceptible d'intégrer les différentes composantes (Fayol, 1985 a). Tant que cette vision d'ensemble n'existe pas, la synthèse ne peut s'effectuer et la M.T. se trouve en situation de surcharge. Dans certains cas extrêmes, cela peut conduire à l'incompréhension totale (Bransford & Johnson, 1972).

Dès lors, il apparaît que la compréhension sera d'autant meilleure — et, donc, la surcharge en M.T. d'autant moins probable — que le sujet parviendra, le plus tôt possible, à une représentation globale de la situation décrite. C'est ce que mettent en évidence les recherches portant sur l'effet du titre ou de l'énoncé thématique placé en tête de texte sur la compréhension et/ou le rappel (Kieras, 1980; Kozminsky, 1977; Schwartz & Flammer, 1981).

On peut donc penser que le placement, en tête d'énoncé, de la question, généralement reléguée en fin de problème, pourrait aboutir à une amélioration des performances. Elle rendrait en effet plus aisée et plus rapide la récupération en M.L.T. du schème pertinent de résolution — lorsqu'il existe — ou elle autoriserait une organisation plus facile des données. Elle interviendrait en somme comme un «organisateur par anticipation» (advance organizer).

De manière similaire, on peut penser que tout regroupement d'opérations permettrait, du fait du remplacement de plusieurs informations à traiter par une seule (le résultat), une facilitation de la résolution. L'allègement de la charge en M.T. libérerait de «l'espace mental» susceptible d'être consacré à d'autres traitements.

Cette analyse théorique de l'impact potentiel des manipulations de la succession des informations dans le texte des problèmes nous a conduits à construire des énoncés systématiquement variés. Partant d'une trame de base comportant un état initial (Ei) et deux transformations additives sucessives (T1 et T2 telles que T1 + T2 = T) et aboutissant à un état final (Ef), nous avons placé la question et les transformations tantôt en début d'énoncé tantôt à l'emplacement habituel (fin d'énoncé pour la question) ou attendu (après Ei ou Ef pour les transformations).

Il reste que nous nous proposions d'étudier l'impact des formulations dans une perspective génétique, en faisant l'hypothèse que cet impact se manifesterait très tôt.

Le point de vue développemental ici adopté tend à accroître la difficulté, notamment par rapport au deuxième facteur invoqué (la disponibilité en M.L.T. de «faits numériques»). Le développement ontogénétique implique en effet deux grandes catégories de progrès. D'une part, l'enfant acquiert de plus en plus de faits, d'algorithmes et de schèmes inter-reliés (Chi, 1978, 1985; Naus, 1982). D'autre part, l'empan de la M.T. semble augmenter en fonction de l'âge: certains considèrent cet accroissement comme réel (Pascual-Leone, 1970); d'autres le conçoivent comme simplement consécutif à l'accélération de la vitesse de traitement des informations (Case, 1982; Case, Kurland, & Golberg, 1982; Dempster, 1981; Hitch & Halliday, 1983; Hulme, Thomson, Muir, & Lawrence, 1984).

Or, on sait que les enfants de 6 ans résolvent les additions simples (3 + 4 = 7 par exemple) par comptage alors que ceux de 10 ans sont en mesure de procéder par récupération directe du résultat en M.L.T. (Ashcraft & Fierman, 1982; Groen & Parklan, 1972; Svenson, 1975 et, pour une revue, Fayol, 1985 b). Donc, la même opération oblige les premiers à imposer une charge de traitement à leur M.T. alors que les seconds n'ont pas à supporter une telle surcharge. Consécutivement, la totalité de l'«espace mental» peut se trouver consacrée au «calcul relationnel», contrairement à ce qui se passe chez les plus jeunes (Fayol, 1985 b).

Il apparaît donc indispensable, si l'on souhaite comparer les capacités de résolution de problèmes entre 6 et 10 ans, de contrôler, au moins grossièrement, la charge en M.T. imposée par le «calcul numérique». A cet effet, il convient de rendre les difficultés relatives aux opérations approximativement proportionnelles au niveau de développement. Alors, et alors seulement, la comparaison apparaîtra légitime. Celà nous a amenés à pré-tester des séries numériques de telle sorte que les comptages correspondants soient aussi difficiles à 6, 9 et 10 ans.

Methode

Matériel

Nous nous sommes limités aux problèmes arithmétiques mettant en jeu des relations additives impliquées par des transformations temporelles. Nous les avons présentés en suivant les formulations traditionnelles des manuels du cycle élementaire. Pour cela, nous avons sélectionné des activités simples de la vie courante (donner, acheter...) en contrôlant la difficulté des expressions lexicales.

Nous n'avons retenu que deux grandes catégories de «calcul relationnel» (Vergnaud, 1982). Dans les deux cas, les problèmes comportent un état initial (Ei) et un état final (Ef) reliés par deux transformations additives (T1 et T2 telles que T1 + T2 = T). A partir de cette trame sous-jacente, nous avons conçu deux séries de problèmes, respectivement désignées comme S1 et S2, illustrées au tableau 1.

Tableau 1: *Exemples de problèmes (S1 et S2) utilisés dans l'expérience*

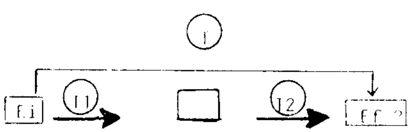
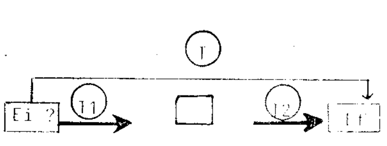
STRUCTURE	CALCUL RELATIONNEL	EXEMPLE
S1. On fournit Ei., T1 et T2 (telles que T1 + T2 = T). Il s'agit de trouver Ef.		«Dans la cour il y avait Ei personnes. T1 garçons sont arrivés. Puis T2 filles sont arrivées. Combien y-a-t-il maintenant de personnes dans la cour?»
S2. On fournit Ef., T1 et T2 (telles que T1 + T2 = T). Il s'agit de trouver Ei.		«Il y a maintenant Ef personnes dans la cour. T1 garçons sont arrivés. Puis T2 filles sont arrivées. Combien y avait-il de personnes dans la cour *avant l'arrivée* des garçons et des filles?»

Table 1: *Examples of problems (S1 and S2) used in the experiment.*

S2 diffère de S1 non du fait qu'elle exige une soustraction mais en raison de la plus grande complexité du «calcul relationnel». Conformément aux travaux antérieurs, on peut donc s'attendre à des réussites plus précoces et plus fréquentes avec S1 qu'avec S2 (Carpenter, Hiebert, & Moser, 1981; Carpenter & Moser, 1982).

A cette «structure profonde relationnelle», nous avons fait subir deux types de modifications. D'une part, nous avons varié l'ordre d'introduction des informations (0): nous fournissions en effet soit l'état (Ei ou Ef) puis T1 — T2 (ordre 01), soit l'inverse (T1 — T2 puis Ei ou Ef; ordre 02). D'autre part nous avons manipulé systématiquement l'emplacement de la question (Q) en la plaçant soit en fin d'énoncé (Q1) soit en début (Q2).

Ces trois variables ont été croisées selon un plan factoriel à trois dimensions fixes, chacune à deux modalités: S2 * 02 * Q2. Nous avons donc élaboré huit problèmes, chacun susceptible d'être présenté sous huit (2^3) versions différentes. Chaque sujet ne voyait qu' une seule d'entre elles (par exemple S1 01 Q1 ou S2 01 Q2...) sous huit «habillages» différents — bonbons, assiettes, voitures, feuilles, billes, personnes, livres et stylos — concernant tous des quantités discrètes (cf. en Annexe 1 les huit habillages — H1 à H8 — et les huit modalités des problèmes).

Au total, nous avons donc construit soixante quatre problèmes différents répartis par blocs de huit d'une même modalité. Au sein d'un bloc donné, seuls variaient l'«habillage» (ayant ici le statut de facteur aléatoire) et les séries numériques. Pour les raisons précédemment évoquées, ces dernières avaient donné lieu à une série de prétests auprès d'enfants de CP, CE 2 et CM 2 à qui nous demandions de résoudre mentalement des additions présentées en l'absence de tout contexte et tout contenu. En prenant pour critères les taux de réussite et une mesure grossière de la durée de résolution, nous avons abouti aux séries répertoriées au tableau 2.

Tableau 2: *Habillages et séries numériques utilisés pour chaque niveau scolaire*

	Niveaux scolaires											
	CP				CE 2				CM 2			
Etats	E_i	T_1	T_2	E_f	E_i	T_1	T_2	E_f	E_i	T_1	T_2	E_f
Habillages												
H1 Bonbons	1 +	2 +	3 =	6	22 +	5 +	4 =	31	15 +	20 +	35 =	70
H2 Assiettes	2 +	4 +	1 =	7	24 +	3 +	5 =	32	25 +	40 +	15 =	80
H3 Voitures	2 +	1 +	5 =	8	27 +	2 +	5 =	34	25 +	10 +	55 =	90
H4 Feuilles	1 +	3 +	1 =	5	23 +	6 +	7 =	36	15 +	30 +	15 =	60
H5 Billes	2 +	1 +	2 =	5	22 +	6 +	8 =	36	25 +	10 +	25 =	60
H6 Personnes	5 +	2 +	1 =	8	23 +	5 +	6 =	34	55 +	20 +	15 =	90
H7 Livres	4 +	1 +	2 =	7	25 +	3 +	4 =	32	45 +	10 +	25 =	80
H8 Crayons	3 +	2 +	1 =	6	21 +	6 +	4 =	31	35 +	20 +	15 =	70

Table 2: *«Contents» and series of number used in first, third and fifth grades.*

Nous ne pouvions être certains de l'équivalence de la difficulté des données numériques en fonction des niveaux scolaires (ici confondus avec les âges) mais, malgré le caractère sommaire de la méthode de construction des séries, nous nous attendions à ce que les scores soient équivalents d'un âge à l'autre, au moins pour S1. Pour S2, le problème se révèle plus complexe. La littérature actuellement disponible (Brainerd, 1983; Gelman, 1983; Carpenter & al 1981; Vergnaud, 1982) tend à montrer que la soustraction s'avère aussi précoce et facile que l'addition, même si elle marque toujours un léger retard par rapport à cette dernière. Nous n'avons donc pas jugé utile de tester de nouvelles séries numériques la concernant. En effet, si seul le «calcul numérique» apparaît plus difficile, la différence des scores entre S1 et S2 devrait rester constante. Si, comme on le soupçonne, les obstacles tiennent au «calcul relationnel», les performances avec S1 et S2 risquent de varier considérablement d'un âge à l'autre.

Sujets

Nous avons vu 192 sujets d'origine socio-économique comparable (classe moyenne), répartis dans différents groupes scolaires de la ville de Dijon. Ils se distribuent selon trois niveaux à raison de 64 sujets par classe. Tous sont d'âge normal: CP = 16;8 ans — CE = 8;8 ans — CM2 = 10;7 ans.

Procédure

Plusieurs expérimentateurs ignorant les hypothèses ont procédé au recueil des données. Ils ont rencontré les enfants un par un au cours d'un entretien durant de trente à quarante minutes.

Après une mise en confiance et une série d'épreuves destinées à centrer l'attention de l'enfant sur le type d'activité (comptage, évaluation rapide de quantités...), l'expérimentateur soumettait successivement au sujet les huit problèmes correspondant à sa série, préablement aléatorisés (inscrits sur des cartes, les problèmes étaient «battus» avant chaque passation).

L'expérimentateur précisait à l'enfant qu'il ne lirait qu' une seule fois l'énoncé de chaque problème. Il procédait effectivement ainsi puis sollicitait une réponse assortie d'une explication («explique comment tu as fait») et suivie, lorsque c'était possible, d'un rappel de l'énoncé.

Après transcription des réponses de l'enfant, chaque problème est noté ainsi:

— 2 = réponse exacte.
— 1 = réponse partielle (une seule des deux opérations nécessaires est effectuée; par exemple Ei + T1 ou bien T1 + T2...).
— 0 = réponse fausse.

Chaque sujet se voit donc affecter huit notes — une (0/1/2) pour chaque problème — et un score global variant entre 0 et 16.

Resultats

Le tableau 3 fait apparaître le score moyen (M) sur 16 et l'écart-type (σ) de chaque groupe de sujets (n = 8).

Tableau 3: *Scores moyens (M) et écarts-types (σ) pour chacune des quatre variables (N = 8 sujets par case)*

				Niveaux scolaires		
				CP	CE2	CM2
S 1	0 1	Q 1	M	8,75	8,50	9,12
			σ	(5,78)	(2,73)	(3,91)
		Q 2	M	10,75	9,50	9,62
			σ	(4,32)	(3,96)	(2,54)
	0 2	Q 1	M	10,12	11,50	10,75
			σ	(3,62)	(2,17)	(3,73)
		Q 2	M	11,87	10,37	12,37
			σ	(3,33)	(2,82)	(2,64)
S 2	0 1	Q 1	M	0,25	0	7,12
			σ	(0,66)	(0)	(5,55)
		Q 2	M	2,87	0	10,5
			σ	(3,21)	(4,03)	(3,39)
	0 2	Q 1	M	1,50	5,37	6,37
			σ	(2,34)	(5,54)	(3,19)
		Q 2	M	4,75	7	9,25
			σ	(4,29)	(6,32)	(3,35)

Table 3: *Mean scores (max. 16), and standard deviation for every four factors (N = 8 subjects by case).*

Les données ont été traitées par une analyse de variance à quatre facteurs fixes inter-sujets plan A3 (Age) * S2 (structure) * O2 (Ordre) * Q2 (Question) avec huit sujets par case.

Contrairement à notre hypothèse, l'utilisation de données numériques de difficulté grossièrement «proportionnelle» à l'âge n'entraîne pas, toutes choses égales par ailleurs, une égalisation des scores globaux à six, huit et dix ans. On observe en fait une nette et significative progression; respectivement 6,35 au CP; 7,28 au CE 2 et 9,40 au CM 2 [F (2,168) = 9,52 $p < .001$]. Toutefois, une analyse plus fine met en évidence une très forte interaction âge × structure [F (2,168) = = 8,53 $p < .001$]. (cf. Figure 2).

L'examen de la Figure 2 suggère que cette interaction est due essentiellement au fait que l'âge ne manifeste son effet que pour S2. Interprétation confirmée par une analyse en sous-plan, où l'on complète le test statistique par une estimation de l'intensité de l'effet de l'âge conditionnellement à la structure (Cf. Abdi, 1985; Hays, 1981): L'effet de l'âge, négligeable pour S1 [$W^2 = 0$, F (2,168) = .158, ns], s'exprime massivement pour S2 [$W^2 = .97$, F (2,168) = 23.88, $p < .00001$).

Si, comme le suggère la littérature sur ce sujet, les difficultés relatives à l'effectuation des soustractions mentales ne soulèvent guère plus de problèmes

Figure 2: *Interaction age × structure des problèmes*

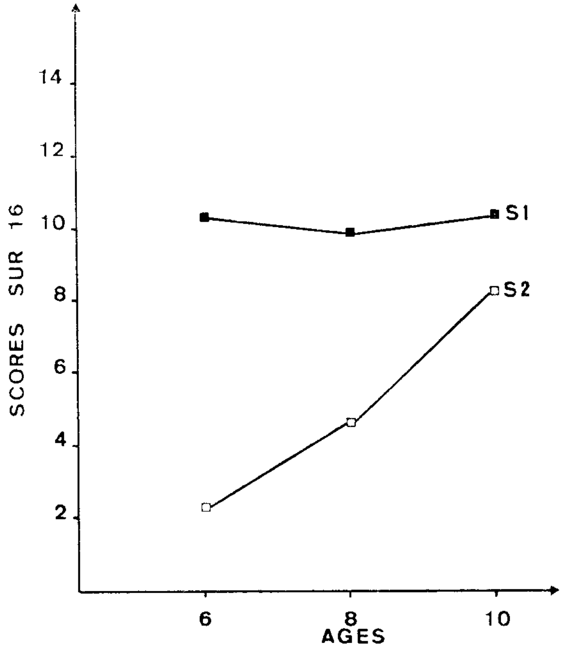


Figure 2:*Interaction Age × Problem structures*

que celles rencontrées avec des additions, les progrès n'affecteraient donc que le seul «calcul relationnel». Cela pourrait résulter soit de la plus grande familiarité des enfants avec ce type de problème (automatisation du traitement relationnel ou accès direct et rapide au «schème» stocké en mémoire à long terme), soit d'une meilleure «gestion cognitive» (monitoring) du traitement, soit encore, de l'accroissement de l'espace mental total. Ces trois possibilités ne s'excluent d'ailleurs pas mutuellement.

En toute rigueur, il demeure toutefois nécessaire de vérifier si une égalisation des performances lors d'un pré-test utilisant des soustractions ne ferait pas disparaître l'évolution observée. Nous n'en croyons rien mais les résultats disponibles n'en administrent pas la preuve.

L'impact de l'ordre d'introduction des informations correspond aux hypothèses émises. Tout se passe comme si la découverte de la solution se révélait plus aisée lorsque les sujets reçoivent d'abord les données relatives aux transformations[2]. Le score moyen atteint en effet 8,44 avec 02 (T1 e T2 énoncées en premier) contre 6,41 avec 01 [F (1,168) = 6,84 $p < .01$]. Malgré l'absence d'interaction significative avec l'âge et la structure, ce phénomène n'apparaît pas sous S2 chez les enfants de dix ans; on relève même une tendance inverse. Il conviendrait donc d'effectuer un contrôle ultérieur concernant plus particulièrement ce fait qui pourrait résulter aussi des aléas de l'échantillonnage.

---

[2] On pouvait penser que la congruence entre ordre de formulation et ordre de déroulement des «événements» faciliterait la résolution. Or il n'en est rien pour ce qui concerne l'expérience ici rapportée. En effet, si le respect de la chronologie aidait à résoudre les problèmes, les meilleures performances devraient apparaître avec S1 01 et S2 02. Les données recueillies ne révèlent rien de tel.

Cela étant, le résultat obtenu, à savoir l'impact facilitateur de la formulation en premier lieu des transformations, correspond à l'approche théorique développée. On conçoit en effet que le traitement rapide et facile de T1 + T2, du fait qu'il permet de ne conserver qu'une donnée (T) au lieu de deux, allège d'autant la charge de stockage en mémoire de travail. Il rend également disponible le résultat T pour l'opération suivante Ei + T ou Ef — T.

Enfin, l'emplacement de la question, en fin (Q1) ou en début (Q2) d'énoncé intervient bien, et de manière très significative, dans un sens conforme aux hypothèses. En effet, la localisation en tête de problèmes entraîne un très important accroissement des scores (Q2 : 8,73 contre Q1 : 6,62 ; F (1,168) = 13,35 $p < .001$). Cela s'avère à tout âge (interaction non significative Age × Emplacement de la question). On peut donc penser que à 6, 8, et 10 ans, un nombre non négligeable d'enfants est en mesure de mobiliser, soit en les construisant soit en les récupérant en M.L.T., les schèmes de résolution pertinents lorsque certaines conditions tendant à alléger la charge en mémoire de travail se trouvent remplies.

Ce phénomène apparaît plus accusé avec S2 — type de problème le plus ardu (calcul de l'état initial) — qu'avec S1 comme l'atteste l'interaction significative entre S et Q [F (1,168 = 4,02 $p < .05$). Cela constitue un argument supplémentaire en faveur de la conception théorique de référence. En effet, l'impact relativement modéré de Q2 sous S1 (cf. Figure 3) se comprend du fait de la simplicité du «calcul relationnel». Celui-ci n'impose sans doute, de ce fait, qu'une charge minime à la mémoire de travail et, dès lors, la modification de l'emplacement de la questiong n'apporte pas un allègement susceptible d'avoir une influence.

Figure 3: *Interaction structure × emplacement de la question*

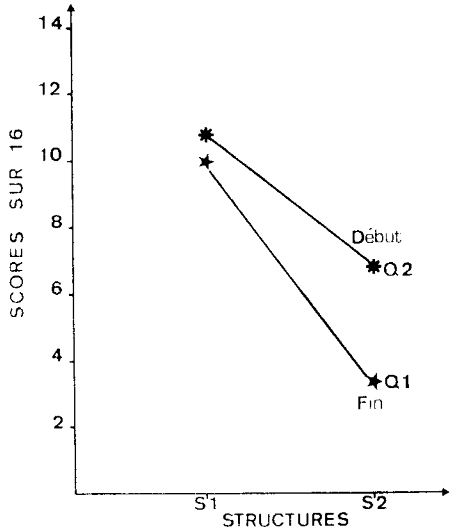


Figure 3: *Interaction structure × Places of the question*

La situation se révèle tout autre avec S2. Face à un «calcul relationnel» que l'on sait difficile, le sujet doit mobiliser le maximum de ressources pour élaborer une représentation de la situation, sélectionner les procédures pertinentes et effectuer les traitements. La formulation en tête de la question lui permet vraisemblablement d'activer ou de construire d'emblée le schème de résolution adéquat. Au contraire, avec Q1, il lui faut attendre la fin de l'énoncé en stockant les données avant de pouvoir amorcer un quelconque traitement.

Ainsi, une analyse quantitative relativement grossière tend à confirmer la pertinence du modèle de traitement développé. L'étude, plus qualitative, des procédures de résolution utilisées par les enfants devrait, elle aussi, apporter des informations allant dans le même sens. Elaborée à partir des explications et justifications fournies par les sujets, elle n'a évidemment pas la même rigueur que l'analyse quantitative. Elle présente néanmoins un grand intérêt puisque, grâce à elle, nous pouvons espérer percevoir l'impact des formulations sur les procédures mises en oeuvre.

Analyse qualitative des procédures

Pour qu'une analyse qualitative soit valable, il convient, compte tenu des difficultés qu'elle présente, qu'elle s'appuie sur un nombre suffisant de cas. Cela nous a amenés à ne retenir que les problèmes de type S2, les seuls intéressants de par la diversité et les caractéristiques des modes de résolution inventoriés. Par ailleurs, l'analyse n'a pu valablement être conduite au CM 2. En effet, dans cette classe, la plupart des enfants réussissent, y compris sous S2, et les erreurs que l'on rencontre semblent surtout le fait de quelques individus. Il ne saurait donc être question de les présenter globalement.

L'inventaire des procédures relevées aux CP et CE 2 lors de la résolution des problèmes de type S2 apparaît au tableau 4. On y observe que, aux deux âges ici considérés, des formulations différentes des énoncés se trouvent systématiquement associées à certaines modalités de résolution, pertinentes ou non.

O1 Q1 — Ainsi, à six ans comme à huit ans, une large majorité d'enfants soumis à O1 Q1 redonne Ef, T1 ou T2 en réponse à la question. Le plus souvent, l'état final (Ef) se voit assimilé à un état initial (Ei) et, donc, le «calcul relationnel» de type S2 se trouve considéré comme un S1. Cela s'avère également, toujours sous O1 Q1, avec la seconde catégorie d'erreurs : effectuer Ef + T1 + T2. Ce qui caractérise les réponses des sujets aux problèmes O1 Q1 c'est donc, d'une part, le fait qu'ils n'ont pas «oublié» les données numériques et, d'autre part, le recours à un schème erroné de résolution (S1 au lieu de S2). L'attestent les rappels recueillis en fin d'entretien et dont voici un exemple:

«Alain avait 5 billes avant d'aller à l'école. [au lieu de «Alain a maintenant 5 billes»]. A l'école il en a gagné 1 et à midi il en a gagné 2 [ordre et données exacts] et ça fait 8» (sujet de 6 ans).

O1 Q2 — Avec O1 Q2, la fréquence des procédures erronées diminue à 6 et 8 ans par rapport aux taux relevés sous O1 Q1. L'erreur dominante consiste cependant toujours à assimiler le «calcul relationnel» S2 à celui S1; d'où la sommation de Ef, T1 et T2. On observe pourtant, comparativement à O1 Q1, un accroissement de deux types de procédures pertinentes : effectuer T1 + T2 et s'en tenir là ; compter Ef — T1 puis, à partir du résultat intermédiaire obtenu (X), X — T2.

Il semble donc que le placement en tête de la question ait conduit un certain nombre d'enfants à ne pas traiter les problèmes de type S2 comme ceux S1. Pour une minorité non négligeable, il y a soit arrêt au niveau d'une procédure intermédiaire (T1 + T2) soit application d'un schème pertinent de résolution tenant compte de l'ordre d'introduction des informations (Ef — T1 = X puis X — T2 = Ei). On rencontre aussi évidemment, dès 8 ans, 38 % de cas dans lesquels les sujets effectuent T1 + T2 = T puis Ef — T.

Tableau 4: *Distribution et taux des procedures utilisées aux CP et CE2 lors de la résolution des problèmes de type S2 (sur 64 problèmes résolus sous chaque modalité de O + Q).*

	Modalités des problèmes							
	O1	Q1	O1	Q2	O2	Q1	O2	Q2
AGES	6	8	6	8	6	8	6	8
PROCEDURES								
a) Procédures erronées								
a.1. Redonner Ef ou T1 ou T2	.67	.84	.09	.08	.00	.05	.17	.00
a.2. Effectuer la somme des trois données (Ef + + T1 + T2)	.14	.11	.45	.22	.02	.09	.03	.23
a.3. Répondre Etat initial égale zéro.	.03	.00	.00	.00	.63	.00	.07	.00
Total (a1 + a2 + a3)	.84	.95	.54	.30	.65	.14	.27	.23
b) Procédures intermédiaires Effectuer T1 + T2	.03	.00	.17	.06	.16	.13	.53	.13
c) Procédures pertinentes								
c1. Recherche de complémentaire (T pour aller à Ef).	.00	.00	.14	.00	.13	.27	.14	.30
c2. Effectuer (Ef—T1) = × puis × — T2.	.00	.00	.00	.17	.00	.00	.00	.00
c3. Effectuer Ef — T (avec T = T1 + T2)	.00	.02	.00	.38	.00	.27	.00	.28
Total (c1 + c2 + c3)	.00	.02	.14	.55	.13	.54	.14	.58
d) Autres (non réponses, inclassables...)	.13	.03	.14	.06	.08	.20	.06	.06

Table 4: *Distribution and frequencies of procedures used by the first and third graders when solving S2 problems. (out of 64 problems solved by column).*

Donc, confrontés aux problèmes S2 O1, un grand nombre d'enfants de six et huit ans les traitent comme s'ils avaient affaire à un «calcul relationnel» de type S1, ce qui constitue une erreur dans la construction ou la sélection du schème de résolution (cf. Bastien, 1984; Escarabajal, ibid.). Le placement en tête d'énoncé de la question tend, aux deux âges considérés, à diminuer la fréquence d'occurrence de cette erreur et à provoquer l'apparition de procédures soit intermédiaires soit pertinentes mais nettement dépendantes pour certaines d'entre elles de l'ordre d'introduction des informations.

Les choses se passent très différemment sous S2 O2. En effet, on observe que les enfants, qu'ils aient 6 ou 8 ans, effectuent quasi systématiquement T1 + T2. C'est seulement ensuite que les comportements divergent. A 6 ans, sous Q1, les deux tiers des sujets considèrent que l'état initial égalait zéro (comme le dit un enfant «parce qu'on lui en n'avait pas donné avant qu'on lui en donne»). Quant à l'état final, lorsqu'ils le considérent, ils n'admettent pas qu'il n'équivale pas à la somme des deux transformations. A 8 ans, ce type de réponse n'apparaît plus dans notre population (Nous l'avons en revanche retrouvé à 10 ans chez trois sujets et notamment sous la modalité S2 O2 Q1). Dominent désormais les procédures pertinentes avec un recours très fréquent à la recherche de complémentaire (T1 + T2 = T puis T + X = Ef). Cela s'avère tant sous Q1 que sous Q2.

En somme, sous O2, les problèmes S2 sont beaucoup moins souvent que sous O1 traités comme des S1. Chez les plus jeunes de nos sujets, l'état initial est considéré comme égal à zéro sous Q1 alors que, sous Q2, il y a arrêt après calcul de T1 + T2. Tout se passe comme si, à six ans, la majorité des enfants ne disposait pas d'un schème de résolution applicable à S2 mais *percevait qu'il ne s'agit pas d'un S1.* Dès lors dominent soit les manifestations d'incompréhension (Etat initial égale zéro) soit les traitements partiels (T1 + T2). A 8 ans, malgré un taux encore non négligeable d'erreurs, les réussites représentent plus de la moitié des cas. Et il est intéressant de noter qu' environ 30 % d'entre elles résultent de l'application d'une procédure presque jamais utilisée sous O1 : la recherche de complémentaire. Or, celle-ci apparaît vraisemblablement sous O2 du fait que le placement en tête des deux transformations facilite leur traitement immédiat (T1 + T2 = T), qui allège d'autant la charge en mémoire. Reste ensuite soit à appliquer une soustraction (30 % des cas) soit à tenter une recherche de complémentaire (30 % des cas) plus élémentaire génétiquement mais difficile à mettre efficacement en oeuvre avec de grands nombres. A dix ans (CM 2), les erreurs relevées sont beaucoup moins fréquentes. Elles correspondent néanmoins aux tendances relevées aux niveaux antérieurs. Ainsi, 35 % des 64 problèmes sous S2 O1 Q1 donnent lieu à une réponse du type Ei = Ef, c'est-à-dire précisément la réponse dominante aux CP et CE 2 sous cette modalité. L'effectuation de la somme des trois données devient rare: quatre sujets y recourent sous S2 O1 Q2, un sous S2 O2 Q1 et un sous S2 O1 Q1. Chacun d'eux ne résout ainsi qu'un ou deux problèmes avant de découvrir une solution plus pertinente. Enfin, la réponse Ei égale zéro (ou Ei = T1 + T2) apparaît chez trois enfants: deux sous S2 O2 Q1 et un sous S2 O1 Q2.

Discussion

Les analyses quantitatives des résultats obtenus par les enfants de six, huit et dix ans à des épreuves de résolution de problèmes dont les difficultés numériques sont rendues «proportionnelles» à l'âge montrent que:

a) A tout âge, les problèmes de «calcul relationnel» S1 sont mieux résolus que ceux S2.

b) La formulation initiale des transformations affectant Ei entraîne un net accroissement des scores sauf au CM 2 sous S2 pour une raison que nous n'avons pu clairement déterminer.

c) Le placement de la question en tête d'enoncé facilite à tout âge la résolution et cela plus sous S2 que sous S1.

d) Les problèmes de type S1 s'avèrent aussi bien résolus aux trois niveaux scolaires considérés alors que ceux de type S2 le sont de mieux en mieux lorsqu'on passe du CP au CM 2.

Les analyses qualitatives post-hoc confirment ces tendances. Elles permettent aussi de mieux comprendre les procédures utilisées et les obstacles rencontrés par les enfants. Elles fournissent enfin des informations quant à l'impact des variables sur le mode de traitement mis en oeuvre par les sujets.

Il apparaît ainsi clairement que, pour les problèmes de type S1, on ne rencontre dès le CP qu'un nombre infime d'erreurs portant sur le «calcul relationnel» (.09 à six ans; .02 à huit ans; .05 à dix ans). A tout âge, les résultats atteignent un très bon niveau (.75 de réussite). Consécutivement, les problèmes faux le sont en raison des difficultés liées au «calcul numérique». Donc, en rendant les difficultés numériques «proportionnelles» à l'âge, nous avons montre que, dans ces conditions, les sujets de CP comme ceux de CE 2 et de CM 2 étaient en mesure d'effectuer en M.T. le traitement des données: stockage, «calcul relationnel» et «calcul numérique».

Dès lors, si dès six ans, les enfants s'avèrent capables de stocker et traiter en M.T. des problèmes additifs comportant trois données adaptées à leur niveau. les difficultés observées avec S2 ne peuvent tenir à cela. Elles peuvent en revanche provenir soit d'obstacles liés au «calcul numérique» de la soustraction (ou de la recherche de complémentaire) soit de la non compréhension de la situation problème (difficulté à construire le «calcul relationnel» pertinent).

Or, l'analyse des procédures de résolution rapportées par les enfants lors des entretiens met en évidence que la proportion des «calculs relationnels» pertinents croît avec l'âge: .24 à six ans, .42 à huit ans, .68 à dix ans. Il serait toutefois erroné d'en conclure que, seuls, les sujets les plus âgés — et, donc, les plus longuement scolarisés — peuvent élaborer le «calcul relationnel» adéquat aux problèmes S2.

Une telle conclusion donnerait une vision simpliste des faits. En effet, nous avons constaté, à tous les âges ici considérés, que des manipulations relativement minimes de certaines variables de formulation — ordre d'introduction des informations, emplacement de la question — avaient un impact sur la mise en oeuvre ou non de procédures pertinentes de résolution.

Ainsi, au CP, la recherche de complémentaire (seule procédure pertinente relevée à ce niveau) n'apparaît jamais avec S2 O1 Q1 alors qu'elle se manifeste avec les trois autres modalités. De plus, c'est avec S2 O1 Q1 qu'on observe le maximum d'erreurs de «calcul relationnel»: .84 au CP, .95 au CE 2 et .47 au CM 2. Comparativement, les taux sont les suivants avec S2 O2 Q2: .27 au CP, .23 au CE 2 et .00 au CM 2.

Si les enfants d'un âge donné se trouvaient dans l'incapacité totale de procéder au «calcul relationnel» correspondant aux problèmes de type S2, ils le seraient toujours, quelles que soient les modalités de formulation. Or, il n'en est rien. Certains d'entre eux, au moins, semblent en mesure de construire une représentation adéquate de la situation-problème lorsque la conception de l'énoncé tend à diminuer la charge en M.T.

Par exemple, au CP, les problèmes S2 se voient assimilés à ceux S1 sous la modalité S2 O1 (Q2 ou Q1) — les enfants additionnent les trois données ou recherchent un hypothétique état final — alors qu'il n'en va jamais ainsi sous S2 O2. Même si, dans ce dernier cas, ils ne parviennent pas à construire le «calcul relationnel» adéquat, ils ne traitent pas non plus les S2 comme des S1. *A défaut de réussir, ils «échouent moins».*

De manière similaire, au CE 2, S2 O1 Q1 est associé à un échec massif alors que le placement en tête de la question (Q2) ou des deux transformations (O2) aboutit à la mise en oeuvre d'environ .50 de procédures pertinentes. L'analyse de celles-ci permet de comprendre pourquoi. En effet, les enfants les plus jeunes tendent à traiter les données au fur et à mesure de leur introduction. C'est ainsi que l'itération de soustractions (EF — T1) — T2 n'apparaît qu'avec O1; la recherche de complémentaire (T1 + T2) + x = Ef qu'avec O2.

Ces «choix» procéduraux, très largement contraints par la formulation de l'énoncé, peuvent parfaitement s'expliquer dans le cadre du modèle que nous avons développé. Il suffit en effet de considérer que, dans certains cas (notamment S2 O1 Q1), le stockage des données en M.T. occupe la quasi totalité de l'espace mental, ne laissant plus à l'enfant aucun degré de liberté pour effectuer la construction du «calcul relationnel». Dès lors, et c'est ce qu'on observe sous S2 O1 Q1, le schème de résolution le plus disponible et le plus élémentaire (celui correspondant à S1) se trouve activé malgré sa non pertinence.

Le placement en tête de la question, parce qu'il permet une recherche et une activation immédiates en M.L.T. du schème de résolution — s'il est disponible — autorise un traitement rapide des transformations. L'allègement consécutif de la charge en M.T. favorise la poursuite des calculs «relationnel et numérique». L'atteste la fréquence (.38), au CE 2, de la procédure Ef − T (où T = T1 + T2) sous S2 O1 Q2 alors qu'elle n'apparaît presque jamais sous S2 O1 Q1.

Un processus similaire intervient vraisemblablement lorque T1 et T2 se situent en tête d'énoncé. Là encore, leur traitement rapide (T1 + T2 = T) permet de remplacer deux données par une seule. L'espace mental s'en trouve d'autant libéré, permettant la poursuite de la résolution. L'accroissement notable, au CP, des procédures intermédiaires (T1 + T2) et, au CE 2, des recherches de complémentaire (T1 + T2) + × = Ef plaide en faveur de cette explication.

L'expérience ci-avant rapportée tend donc à montrer que la résolution de problèmes arithmétiques «simples» ne dépend pas seulement des dimensions numériques et, surtout, du «calcul relationnel» sous-jacent mais aussi de certaines caractéristiques paraissant moins immédiatement reliées au raisonnement mathématique. Celles-ci peuvent être considérées comme relevant de questions de «formulation» mais l'explication de leur impact nous semble pouvoir s'effectuer en référence à un modèle de fonctionnement cognitif faisant appel à la notion de mémoire de travail (M.T.), celle-ci stockant de manière labile un nombre limité d'informations et ne pouvant accepter que très peu de traitements simultanés.

Annexe

S1 O1 Q1	H1 —	Paul avait .... bonbons. Se maman lui a donne .... bonbons. Sa soeur lui a donné .... bonbons. Combien Paul a-t-il *maintenant* de bonbons?
S1 O1 Q2	H2 —	Je voudrais savoir combien il y a *maintenant* d'assiettes sur la table (dans le buffet). Il y avait .... assiettes sur la table (dans le buffet). Maman a posé .... assiettes sur la table (dans le buffet). Jean a posé .... assiettes sur la table (dans le buffet).
S1 O2 Q1	H3 —	Ce matin .... voitures sont entrées dans le garage (parking). A midi, ... voitures sont entrées dans le garage (parking). Hier, il y avait déjà .... voitures dans le garage (parking). Combien y a-t-il *maintenant* de voitures dans le garage (parking)?
S1 O2 Q2	H4 —	Je voudrais savoir combien Aline a *maintenant* de feuilles dans son classeur. Elle a mis .... feuilles roses puis elle a mis .... feuilles vertes. Elle avait déjà .... feuilles blanches.
S2 O1 Q1	H5 —	Alain a maintenant .... billes. A la récréation, il a gagné .... billes. A midi, il a gagné .... billes. Combien Alain avait-il de billes *avant* d'aller à l'école, ce matin?

S2 O1 Q2 H6 — Je voudrais savoir combien il y avait de personnes dans la cour *avant* l'arrivée des fillettes et des garçons. Il y a maintenant .... personnes .... garçons sont arrivés puis .... fillettes sont arrivées.

S2 O2 Q1 H7 — Pour Noël, la grand'mère d'Annie (on) lui a acheté .... livres. Pour le nouvel an (A la rentrée de janvier), son frère (on) lui a acheté .... livres. Annie (La bibliothèque) a maintenant .... livres. Combien Annie (la bibliothèque) avait-elle de livres *avant* Noël?

S2 O2 Q2 H8 — Je voudrais savoir combien Valérie (le maître) avait de stylos *avant* de recevoir les rouges et les verts. Elle (Il) a reçu .... stylos verts. Elle (Il) a maintenant .... stylos.

References

Abdi, H. (1985). *Introduction au traitement statistique des données expérimentales* (2 vol.), Dijon: Laboratoire de Psychologie, ronéo.

Ashcraft, M. H. (1982). The development of mental arithmetic: a chronometric approach. *Developmental Psychology, 2*, 213-236.

Ashcraft, M. H., Battaglia, J. (1978). Cognitive arithmetic: evidence for retrieval and decision processes in mental addition, *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory, 4*, 527-538.

Ashcraft, M. H., Fierman, B. A. (1982). Mental addition in third, fourth, and sixth graders. *Journal of Experimental Child Psychology, 33*, 216-234.

Baddeley, A. D., Hitch, G. (1974). Working memory; In Bower G. H. (Ed.), *The psychology of learning and motivation*; New-York: Academic Press.

Bastien, C. (1984). Réorganisation et construction de schèmes dans la résolution de problèmes. *Psychologie Française, 29* (3/4), 243-246.

Brainerd, C. J. (1983). Young children's mental arithmetic errors: a working memory analysis. *Child Development, 55*, 812-830.

Bransford, J. D., Johnson, M. K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: some investigations on comprehension and recall, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 11*, 717-726.

Caillot, M. (1984). La résolution de problèmes de physique: représentations et stratégies. *Psychologie Française, 29* (3/4), 257-262.

Carpenter, T. P., Hiebert, J., Moser, J. M. (1981). Problem structure and first grade children's initial solution process for simple addition and subtraction problems. *Journal for Research in Mathematical Education, 12*, 27-39.

Carpenter, T. P., Moser, J. M. (1982). The development of addition and subtraction problem solving skills; In Carpenter T. P., Moser J. M., Romberg T. A. (Eds.); *Addition and subtraction: a cognitive perspective*; Hillsdale: Erlbaum.

Case, R. (1982). General developmental influences on the acquisition of elementary concepts and algorithms in arithmetic; In Carpenter T. P., Moser J. M., Romberg T. A. (Eds.); *Addition and subtraction: a cognitive perspective*; Hillsdale: Erlbaum.

Case, R., Kurland, D. M., Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology, 33*, 386-404.

Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development: In Siegler R. S., (Ed.): *Children's thinking: what develops?*; Hillsdale: Erlbaum.

Chi, M. T. H. (1985). Changing conception of sources of memory development. *Human Development, 28*, 50-56.

Clark, H. H. (1969). Linguistic processes in deductive reasoning. *Psychological Review, 76*, 387-404.

Conne, F. (1985). Calculs numériques et calculs relationnels dans la résolution de problèmes arithmétiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 5* (3), 269-332.

Dempster, F. N. (1981). Memory span: sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin, 99*, 63-100.

Dumont, B. (1982). L'influence du décor et du langage dans des épreuves de type «logique» portant apparemment sur l'implication, *Educational Studies in Mathematics, 13*, 409-429.

Escarabajal, M. C. (1984). Compréhension et résolution de problèmes additifs. *Psychologie Française, 29,* (3/4), 247-252.

Fayol, M. (1985). *Le récit et sa construction: une approche de psychologie cognitive,* Neuchâtel, Paris: Delachaux & Niestlé.

Fayol, M. (1985). Nombre, numération et dénombrement: que sait-on de leur acquisition? *Revue Française de Pédagogie,* n.° 70, 59-77.

Frederiksen, N. (1984). Implications of cognitive theory for instruction in problem solving. *Review of Educational Research, 54* (3), 363-487.

Gelman, R. (1983). Les bébés et le calcul. *La Recherche, 14* (149), 1382-1389.

Groen, G. J., Parkman, J. M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review, 79,* 329-343.

Hitch, G. J. (1978). The role of short-time working memory in mental arithmetic. *Cognitive Psychology, 10,* 302-323.

Hitch, G. J. (1980). Developing the concept of working memory; In Claxton G., (Ed.); *Cognitive Psychology: new directions;* London: Routledge & Keagan.

Hitch, G. J., Halliday, M. S. (1983). Working memory in children. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 8,* 325-340.

Hudson, T. (1983). Correspondances and numerical differences between disjoint sets. *Child Development, 54,* 84-90.

Hulme, C., Thomson, N., Muir, C., Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 38,* 241-253.

Kaye, D. B. (1985). The development of mathematical cognition. *Poster presented at the Eighth Biennal Meeting of the I.S.S.B.D.,* Tours, France, July 7.

Kieras, D. E. (1980). Initial mention as a signal to thematic content in technical passages. *Memory & Cognition, 8,* 345-353.

Kintsch, W., Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review, 92,* 109-129.

Kozminsky, E. (1977). Altering comprehension: the effect of biasing titles on text comprehension. *Memory & Cognition, 5,* 482-490.

Nesher, P. (1982). Levels of description in the analysis of addition and subtraction word problems; In Carpenter, T. P., Moser, J. M., Romberg, T. A., (Eds.); *Addition and subtraction: a cognitive perspective;* Hillsdale: Erlbaum.

Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica, 32,* 301-345.

Richard, J. F. (1984). La construction de la répresentation du problème, *Psychologie Française. 29,* (3/4), 226-230.

Riley, M. S., Greeno, J. G. Keller, J. I. (1983). Development of children's problem solving ability in arithmetic; In Ginsburg, P., (Ed.); *The development of mathematical thinking;* New York: Academic Press.

Schwarz, M. N. K., Flammer, A. (1981). Text structure and title effects on comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 20,* 61-66.

Svenson, D. (1975). Analysis of time required by children for simple additions. *Acta Psychologica, 39,* 289-302.

Sweller, J., Mawer, R. F., Ward, M. R. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General, 112,* 639-661.

Teubal, E., Nesher, P. (1983). Order of mention vs order of events as determining factors in additive word problems. Proceedings of the Seventh International Conference P. M. E. Weizman Institute of Science, Rehovot Israel.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems; In Carpenter, T. P., Moser, J. M., Romberg, T. A., (Eds.); *Addition and subtraction: a cognitive perspective;* Hillsdale: Erlbaum.

How the wording of problems works on solving additive problems in children from 6 to 10

An experiment was carried out concerning arithmetical problem solving in children. Three between sujects variables were manipulated. All problems followed the same underlying pattern with an initial state (Ei), two additive transformations (T1 and

T2), and a final state (Ef); yet the unknown state concerned either Ef (S1 problems) or Ei (S2 problems). The order of introducing the transformations was counterbalanced: either state first (O1 order) or transformations first (O2). Finally, the question was located either at the end of the problem (Q1) or at its beginning (Q2).

One hundred and ninety two subjects (64 six, eight, and ten year-olds) were submitted to 8 different problems of the same type. The difficulties of the numerical series were tentatively controlled on an attempt to render the computations roughly «proportional» to ages.

Quantitative and qualitative analysis were conducted. Results show that: a) Problems with final state unknown (S1) are solved more easily and early, whereas problems with initial state unknown (S2) are better solved as the children grow older. b) Introducing the transformations first (O2) and placing the question at the beginning of the problem-text (Q2) yields better performances c) The procedures used to solve the problems are clearly dependant on the wording of the problems.

An interpretation is proposed which takes in account both the knowledge available in L.T.M. and the limitations of working memory.

Mots-clés: Résolution de problèmes, Formulation d'énoncés, Psycholinguistique textuelle, Développement des procédures de résolution, Mémoire de travail.

Reçu le: 25 septembre 1985
Révision reçue le: 20 novembre 1985

Hervé Abdi. Laboratoire de Psychologie, 36, Rue Chabot-Charny, 21000 DIJON (FRANCE)

Thèmes actuels de recherche:

Méthodologie et Statistiques. Structure des catégories naturelles (prototypes, et typicalité).

Publications les plus représentatives en Psychologie de l'éducation:

Abdi, H. (1986). Faces, prototypes and additive-tree representations. In Ellis H. D., Jeeves M. A., Newcombs F., Young A. W. (Eds.), *Aspects of face processing.* Dordrecht: Nijhoff.

Abdi, H. (1985). Représentations arborées de l'information verbatim. *Bulletin de Psychologie, 38,* 633-643.

Abdi, H., Barthelémy J. P., Luong X. (1984). Tree representations of associative structures in semantic and episodic memory research. In Degreef E., Van Buggenhaut J., (Eds.), *New trends in mathematical psychology,* New York: Elsevier.

Abdi, H. (1985). *Introduction au traitement statistique des données expérimentales,* Dijon: P.U.D.

Michel Fayol. Laboratoire de Psychologie, 36, rue Chabot Charny, 21000 DIJON (FRANCE)

Thèmes actuels de recherche:

Psychologie génétique; Psycholinguistique textuelle; Compréhension et production de la langue écrite; Résolution de problèmes arithmétiques.

Publications les plus représentatives en Psychologie de l'Education:

Fayol M. (1982); Le plus-que-parfait. Etude génétique en compréhension et production chez l'enfant de 4 à 10 ans. *Archives de Psychologie, 50,* 261-283.

Fayol M. (1985); Nombre, numération et dénombrement. Que sait-on de leur acquisition? *Revue Française de Pédagogie,* n.º 71, 59-77.

Fayol M. (1985); L'emploi des temps verbaux dans les récits écrits. Etudes chez l'enfant, l'adulte et l'adolescent. *Bulletin de Psychologie, 38,* 683-703.

Fayol M. (1985); *Le récit et sa construction. Une approche de psychologie cognitive.* Neuchâtel, Paris: Delachaux & Niestlé.