JACQUES LAMOUR

Les modèles de problèmes additifs : compréhension et représentation en fonction du niveau d'expertise chez des enfants de CM2

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1995-1996, fascicule 3
« Fascicule de didactique des mathématiques et de l'E.I.A.O. », , exp. nº 1, p. 1-21
<http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1995-1996___3_A1_0>

Les modèles de problèmes additifs : compréhension et représentation en fonction du niveau d'expertise chez des enfants de CM2

Jacques LAMOUR
Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Education
Université de Rennes 2 Haute Bretagne

Résumé : *Les recherches portant sur les problèmes additifs sont généralement réalisées dans le cadre d'un paradigme de résolution. Ce type de paradigme vise à révéler la nature des difficultés rencontrées par les enfants en fonction des problèmes ainsi que les procédures qu'ils utilisent pour le résoudre. D'autres études portant sur la création d'énoncés de problèmes par les enfants et sur des épreuves de rappel nous permettent d'approcher l'instanciation des schémas mis en oeuvre au cours d'une résolution de problème ainsi que les types d'informations stockées en mémoire.*

Cette recherche vise à mettre en relation ces trois paradigmes afin de contribuer à une meilleure compréhension des modèles de problèmes additifs.

Les résultats indiquent que la structure même du problème agit davantage que les données numériques ou le thème de l'énoncé sur le type de représentation sémantique. On constate qu'en fonction de la structure des énoncés, les sujets ont instancié différents schémas de problèmes. Un nombre plus important de ces derniers, chez les enfants experts, leur a permis d'élaborer des créations d'énoncés plus difficiles et d'obtenir une meilleure résolution aux problèmes fournis. Les épreuves de rappel montrent que les enfants experts se souviennent mieux de la structure des problèmes que les enfants des autres groupes.

Mots-clé : *Résolution de problèmes, mémoire sémantique, représentation, schémas, expertise.*

Le champ d'étude visé est la résolution de problèmes arithmétiques et plus particulièrement la compréhension des processus utilisés par des enfants d'âge scolaire dans la construction d'une plus grande expertise de ce domaine.

Nous avons donc abordé la résolution de problèmes additifs en essayant de comprendre comment un enfant réussit à résoudre en fonction des schémas de problèmes qu'il possède en mémoire et la manière dont ils sont structurés.

L'intérêt de cette étude est l'utilisation conjointe de trois paradigmes où l'enfant est placé dans des situations de création d'énoncés, de résolution de problèmes et de rappel.

1. LE PARADIGME DE RESOLUTION

Il permet de nous renseigner à la fois sur les types de difficultés dont peuvent être constitués les problèmes additifs et sur les procédures activées par les enfants.

Des études comme celle de Fayol, Abdi et Gombert (1987) et de Rilley, Greeno et Heller (1983) ont favorisé la mise en place d'une classification des problèmes en fonction de leur niveau de difficulté (Tableau I). Vergnaud (1982) a affiné ces typologies en prenant en compte le calcul relationnel, c'est à dire les relations que doivent effectuer les enfants entre les éléments de l'énoncé.

Tableau I : Niveau des problèmes en fonction de leur difficulté structurale

Niveaux	DEFINITION	STRUCTURE	EXEMPLE
Niveau 0	Résolution impossible		Paul a 3 billes de plus que Jean. Pierre a 4 billes de moins que Jean. Combien de billes a chaque enfant.
Niveau 1	Un état initial est relié par au moins une transformation à un état final	EI - T - EF	Jean a 10 billes. Il en perd 3. Combien lui en reste t il ?
Niveau 2	Il n'y a pas de transformation	E → EF ← E1	Pierre a 3 billes. Paul a 5 billes. Combien de billes ont-ils ensemble ?
Niveau 3	Introduction de formules de type PLUS DE / MOINS DE	E1, EF E2 ?, E3 ?	Jean a 8 billes. Paul a 5 billes. Combien Jean a t- il de billes de plus que Paul ?
Niveau 4	Problèmes portant sur une combinaison de transformations ou d'états	$\xrightarrow{T1\ ?}$ $\xrightarrow{T2\ ?}$ $\xrightarrow{\quad T \quad}$	Bruno joue deux fois aux billes Au second jeu, il perd 7 billes. Après les deux jeux, il a gagné 3 billes. Qu'est il arrivé au premier jeu ?

Pour résumer, on peut dire qu'il existe quatre grandes catégories de problèmes additifs de difficulté croissante : Problèmes avec Changement d'états (un état initial, une ou des transformations et un état final), problèmes de Combinaison (combinaison d'états seuls), problèmes de Comparaison (introduisant les formules de type plus de/moins de) et enfin des problèmes faisant intervenir des Compositions de transformations.
La recherche de l'inconnue et le type de situation (dynamique ou statique) sont les principaux facteurs qui font varier la difficulté à l'intérieur de ces catégories.

2. LE PARADIGME DE CREATION

Bien que moins fréquents, les travaux menés sur la création d'énoncés par les enfants eux-mêmes apparaissent comme une voie de recherche intéressante pour permettre d'approcher les schémas de problèmes activés par les sujets lors de la résolution.
On peut citer la recherche de Lemoyne, Giroux & Biron (1990). Les résultats indiquent que des schémas de connaissances semblent présider à la formulation de problèmes. Chez les sujets les plus âgés, les questions sont plus cohérentes et les relations entre les données sont davantage spécifiées.
Dans une perspective voisine, les études sur ce que l'on appelle le transfert analogique peuvent nous éclairer sur les processus mis en jeu dans cette activation de relations spécifiques à chaque type de problème. L'analogie intervient à la fois pour comprendre (c'est à dire se donner une représentation du problème), et pour activer des solutions que l'on tente d'appliquer (en les modifiant si nécessaire) à la situation présente dans l'énoncé.

3. LE PARADIGME DE RAPPEL

Lorsque des individus sont confrontés à une tâche de résolution de problèmes, ils ne développent pas seulement leurs capacités spécifiques à ce type de problème mais également celles utilisées dans d'autres problèmes (Lovett & Anderson, 1994). De ce fait, face à un type de problème, le sujet active, en plus des connaissances propres au problème, des connaissances liées à d'autres problèmes. Il y aurait une activation plus générale des stratégies puis une mise en oeuvre de capacités plus spécifiques au problème posé. D'où l'intérêt de l'utilisation d'un troisième paradigme qui est celui du rappel afin d'approcher l'organisation en mémoire. Une étude de Kintsch (1986) portant sur le rappel d'énoncés par des enfants montre que les rappels différés d'énoncés correspondent pour les problèmes les plus difficiles, à des énoncés de problèmes plus simples. On note également que le rappel immédiat reste relativement proche de la forme initiale de l'énoncé.

4. CONCLUSION

L'intérêt de cette étude est donc d'essayer de mettre en relation ces trois sources d'informations afin d'approcher de manière plus complète les schémas de problèmes activés lors de la résolution. Par ailleurs, on peut penser que l'utilisation du paradigme expert/novice avec trois niveaux voisins d'expertise serait plus informative quant aux mécanismes mis en jeu dans l'acquisition d'une expertise.

5. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Soixante-six élèves de C.M.2. participent à cette recherche. Le niveau de C.M.2. a été choisi en raison de l'étendue des connaissances scolaires en Mathématiques et notamment pour permettre des élaborations de problèmes sans qu'interviennent d'éventuelles difficultés liées à la maîtrise de l'écrit.
Afin d'appréhender les différents schémas de problèmes disponibles chez les enfants, nous avons mis en oeuvre conjointement trois paradigmes d'étude des problèmes additifs (création, résolution et rappel).

L'expérience se déroule de la façon suivante :

1) Tout d'abord, on demande aux sujets de créer cinq énoncés de problèmes de difficulté croissante.
2) On les soumet à une tâche de résolution de 5 problèmes, eux aussi de difficulté croissante.
3) On leur propose enfin le rappel des énoncés de ces 5 problèmes fournis (immédiatement après la résolution et une deuxième fois le lendemain).

Au regard de notre hypothèse générale selon laquelle le niveau d'expertise des sujets devrait affecter leurs performances dans les trois tâches auxquelles ils sont soumis, trois groupes expérimentaux ont été constitués. Ceux-ci en fonction des résultats scolaires en résolution de problèmes :
- GE : Groupe « expert »;[1]
- GM : Groupe « moyen »;
- GF : Groupe « faible ».

[1]Ces dénominations doivent être entendues comme représentant trois niveaux a priori proches du niveau d'expertise des sujets.

L'expérimentation comporte quatre phases reportées sur le tableau suivant :

PHASES	Tâches réalisées	Hypothèses
PHASE N° 1	Création d'énoncés de difficulté croissante	Des structures plus élaborées chez les sujets experts
PHASE N° 2	Résolution des 5 problèmes construits	
PHASE N° 3	Résolution de 5 problèmes fournis + Rappel immédiat	Meilleures performances chez les experts. Les énoncés restitués seront proches des énoncés-cibles
PHASE N° 4	Rappel différé des énoncés	Approche des modèles de problèmes instanciés par les enfants

6. ANALYSE DES RESULTATS

Concernant les résultats, je n'indiquerais que les analyses les plus originales du D.E.A. et post-D.E.A.

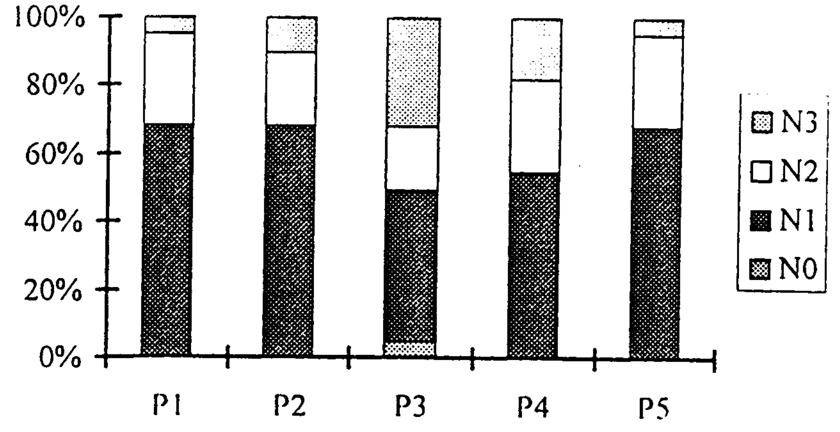
6.1. Analyse des créations d'énoncés

La structure est l'élément majeur utilisé pour rendre compte de la difficulté d'un problème dans les différentes typologies de problèmes additifs.

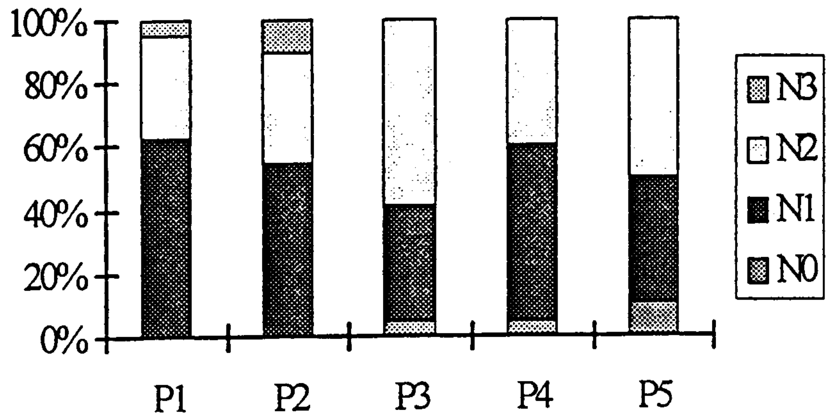
Par conséquent, nous allons nous intéresser à la distribution des sujets par nive· le difficulté en fonction de la construction des cinq problèmes.

Tableau II Apparition des niveaux de difficulté chez les trois groupes

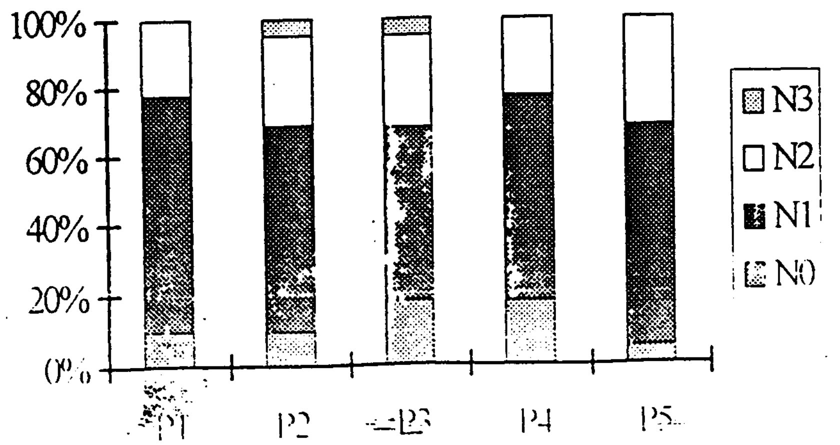
Groupe Expert



Groupe Moyen



Groupe Faible



La création d'énoncés par le groupe faible occasionne le plus de résolution impossible et inversement les enfants experts représentent 78 % des sujets créant des problèmes de niveau 3 (CHI-2 significatif , $P < 0.01$). Par contre, nous retrouvons sensiblement le même nombre de problèmes créés de Niveau 1. Les enfants du groupe Moyen produisent le plus d'énoncés de Niveau 2.

On s'aperçoit que quel que soit le groupe, la majorité des sujets commence par créer un problème de Niveau 1 (changement d'état) et reste à ce niveau pour le second problème. Il faut souligner que ce type de problème engendre trois types de difficulté en fonction de l'élément inconnu à rechercher.
Par contre, on note que des différences existent lors de la création du problème n°3 et que l'on tend vers une stagnation pour les problèmes n°4 et n°5. On s'aperçoit donc que le problème n°3 ressemble à un plafond dans l'augmentation de la difficulté des problèmes. En effet, c'est à cet énoncé que les enfants experts créent le nombre maximum de problèmes de Niveau 3 (CHI-2 significatif à $P < 0.01$). Les sujets moyens se caractérisent par une plus grande création de problèmes de Niveau 2 (CHI-2 significatif à $P < 0.01$). Par contre, les proportions de sujets dans chacun des niveaux restent constantes tout au long des cinq problèmes pour le groupe faible. Cependant, il faut noter que le nombre de 18 % de créations de problèmes impossibles est atteint au problème n°3 pour ce dernier groupe.

6.2. Analyse des performances de résolution

Les groupes de sujets devraient se différencier par leurs performances de résolution aux problèmes proposés. L'analyse des résultats peut se faire selon les performances en fonction des problèmes mais également en fonction des groupes.

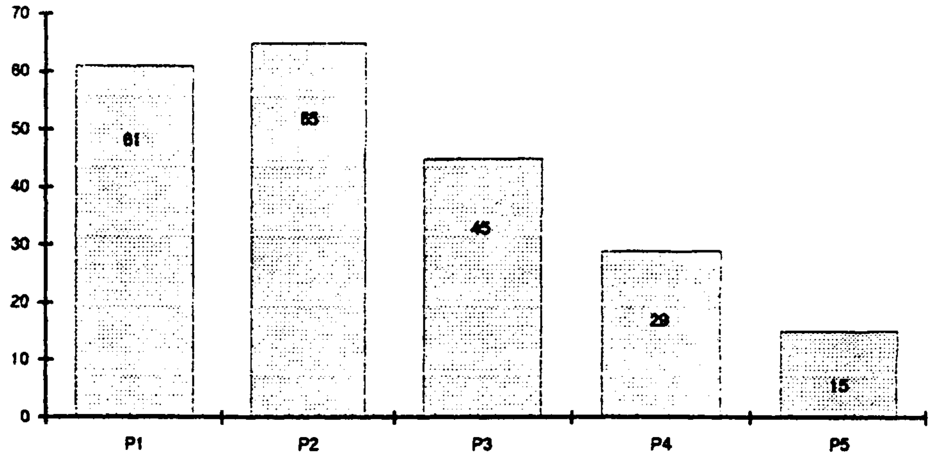


Figure 1 - Variation du nombre de réussites en fonction des problèmes

L'histogramme obtenu indique globalement que la classification des problèmes en fonction de leur difficulté structurale est respectée. F (4;252) est significatif à $P < 0.0001$. Cependant, on constate peu de différences entre les deux premiers problèmes qui sont de type Changement d'état. La difficulté porte ici sur la modification de la nature de l'inconnu.
Les trois derniers problèmes montrent une chute importante des performances. Ces problèmes sont de type Comparaison et Composition de transformations pour le dernier problème.

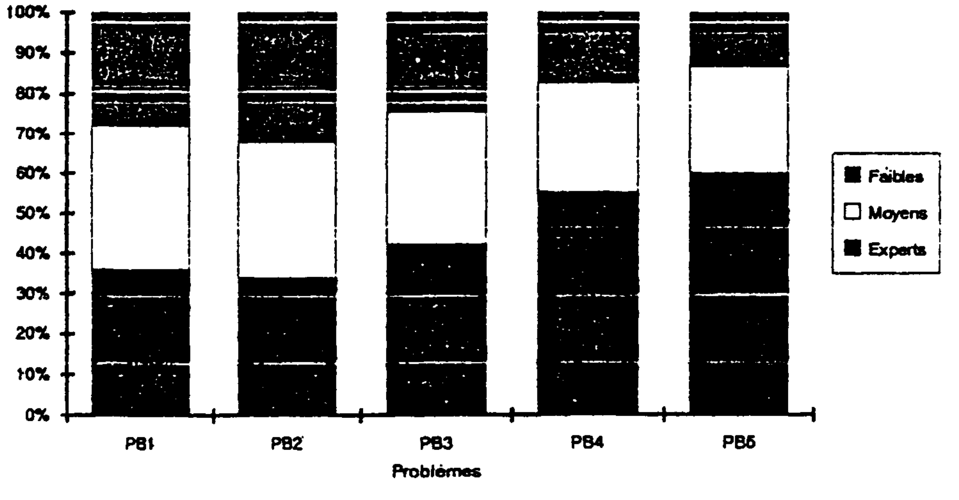


Figure 2 - Performances de résolution en fonction des groupes

On s'aperçoit que la répartition des sujets en trois groupes en fonction de leur degré d'expertise est correcte. F (2;63) est fortement significatif à $P < 0.0001$. Les différences de performances de résolution sont très significatives pour tous les problèmes exceptés pour le problème n°2. Le problème n°3 est le plus différenciateur des trois groupes ($P < 0.01$).

Par conséquent, on s'aperçoit que la structure d'un problème joue un rôle important dans la performance de résolution des sujets. En effet, plus la difficulté structurale des problèmes augmente et plus le groupe faible est en situation d'échec.

6.3. Analyse des épreuves de rappels

Ces épreuves peuvent nous renseigner sur l'importance apportée aux composantes (structure ou numérique) en mémoire en fonction du degré d'expertise.

6.3.1. Le rappel immédiat

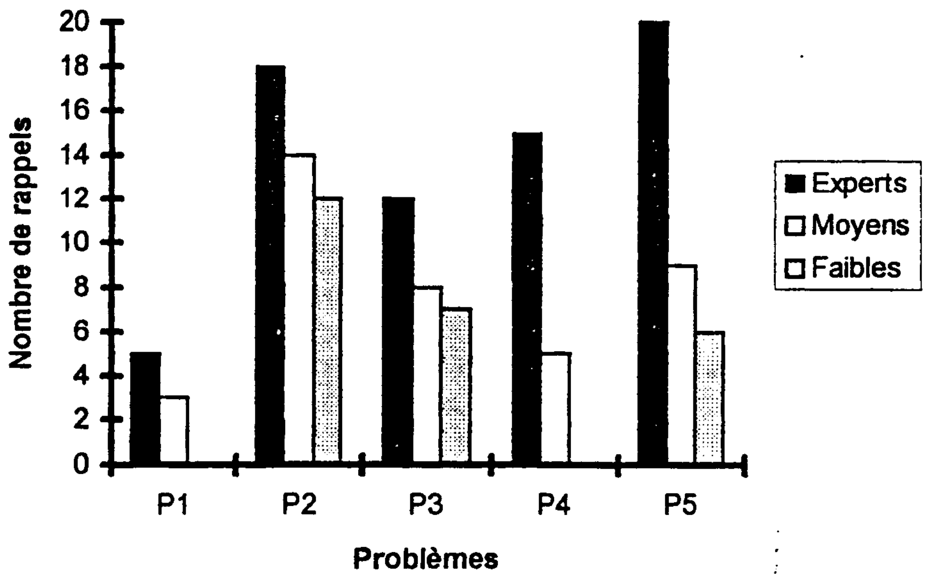


Figure 3 - Performances au rappel immédiat en fonction des gro

Les résultats indiquent une forte différence de rappel en fonction des problèmes ($F(4;252)$ est significatif à $P < 0.00001$) mais également en fonction des groupes ($F(2;63)$ est significatif à $P < 0.001$). Une analyse plus fine ,effectuée en différenciant le rappel de la structure et le rappel du numérique, n'apporte aucune indication : les enfants se souviennent autant de la structure des problèmes que des données numériques. Le problème n°2 est celui qui est le mieux rappelé (44 sujets sur 62 ont réussi à le rappeler exactement). En revanche, les problèmes n°1 et n°4 entraînent le plus de difficultés.

Cependant, il faut indiquer que c'est le groupe expert qui se démarque des deux autres groupes. En effet, on n'aperçoit pas de différences statistiquement significatives entre les groupes Moyen et Faible. Seul le problème n°4 est très discriminatif des trois groupes.

6.3.2. Le rappel différé

Cette épreuve nous permet d'approcher les schémas de problèmes susceptibles d'exister chez les enfants. Les résultats devraient nous montrer des différences de rappel tant au niveau quantitatif que qualitatif en fonction du degré d'expertise.

On s'attend à ce que le groupe expert retienne davantage la structure que les deux autres. De plus, les performances devraient mieux rendre compte de l'importance des composantes en mémoire.

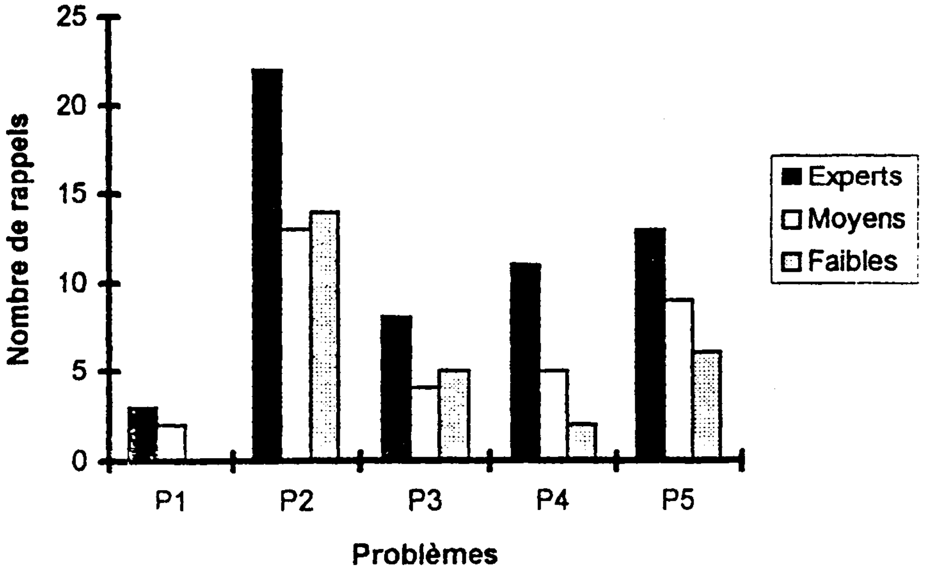


Figure 4 - Performances au rappel différé en fonction des groupes

Les différences de rappel en fonction des problèmes sont très significatives. F(4;252) est significatif à $P < 0.0001$. De même qu'au rappel immédiat, les enfants se rappellent aussi bien de la structure que du numérique. On retrouve les distinctions effectuées au rappel immédiat. En effet, le problème n°2 reste très bien rappelé alors que les problèmes n°1 et n°4 soulèvent toujours des difficultés de restitution d'énoncé. Par contre, l'écart entre le groupe expert et les deux autres groupes se resserre : F (2;63) est significatif à $P < 0.05$.
Le groupe expert obtient toujours les meilleures performances de rappel et les groupes Moyen et Faible tendent vers une homogénéisation de leurs performances de rappel.

6.4. Analyse du type d'échec en fonction des groupes

En complément de l'analyse quantitative des performances de rappel, il faut s'intéresser également aux types d'erreurs commises par les enfants. L'origine de l'échec peut être de nature différente : soit une modification numérique ou structurale, soit un oubli de donnée(s). Deux autres dimensions peuvent être intéressantes comme le mélange de deux problèmes proposés ou l'absence totale de réponse. Par conséquent, on analysera l'échec en fonction de ces divers critères afin de montrer si l'échec chez les sujets du groupe faible est dû davantage à la structure que chez le groupe expert.
Remarque : Les groupes n'ayant pas le même nombre d'échecs, les résultats seront présentés proportionnellement aux performances de chaque groupe :

Tableau III : Analyse du type d'échec en fonction des groupes (en pourcentages). Rappel immédiat.

	Absence de réponse	**Mélange de problèmes**	**Structure nouvelle**	**Numérique nouveau**	**Manque de donnée(s)**	**Structure + Numérique nouveaux**	**Total**
Experts	32,5	7,5	0	25	20	15	100
Moyens	55	7	12,5	10	2,8	12,7	100
Faibles	56,6	4,8	15,6	6	5	12	100

La première distinction qui peut être faite est la différence existant entre le groupe expert et les deux autres groupes.

En effet, on s'aperçoit que les proportions d'échecs diffèrent quel que soit le type d'échec excepté pour le mélange de problèmes.

Un fait remarquable est le nombre de "feuilles blanches" rendues par les enfants. Plus de 50% de l'échec au rappel immédiat correspond à ce type pour les groupes moyen et faible.

Une autre donnée importante est le fait qu'aucun expert n'a tenté de substituer une nouvelle structure à l'un des problèmes proposés. Lorsqu'ils l'ont fait (et dans des proportions comparables aux autres groupes), c'est en association avec le numérique. En effet, ils ont davantage introduit de nouvelles données numériques ou oublié un fait important de l'énoncé (structural ou numérique); respectivement 25% et 20% des types d'échecs du groupe expert.

Par conséquent, on s'aperçoit que les experts ont davantage modifié les traits de surface (données numériques) que les autres groupes.

Tableau IV : Analyse du type d'échec en fonction des groupes (en pourcentage). Rappel différé.

	Absence de réponse	Mélange de problèmes	Structure nouvelle	Numérique nouveau	Manque de donnée(s)	Structure + Numérique nouveaux	Total
Experts	39,6	0	9,5	30,2	13,2	7,5	100
Moyens	46,7	1,3	18,2	11,7	2,6	19,5	100
Faibles	42,2	4,8	13,2	9,6	1,2	29	100

D'une manière générale, les experts se distinguent encore des deux autres groupes quel que soit le type d'échec.

Les résultats montrent que le nombre de " feuilles blanches " rendues par les sujets est en diminution de même que le mélange des problèmes. Ces changements font apparaître une nouvelle tendance des échecs. En effet, on assiste, au rappel différé, à davantage de structures nouvelles d'énoncés ainsi qu'à la construction de problèmes nouveaux.

Cependant, ceci n'est pas valable pour tous les groupes :

- On voit apparaître des sujets du groupe expert qui introduisent une structure nouvelle. Mais le nombre de créations de nouvel énoncé diminue.
- Le nouveau numérique reste l'élément majeur avec l'absence de réponse pour les experts. Comme au rappel immédiat, le groupe expert a essentiellement transformé l'un des traits de surface.
- Les enfants du groupe moyen et faible mélangent moins les problèmes qu'au rappel immédiat mais ils modifient davantage la structure des énoncés et créent plus de nouveaux problèmes. Les faibles vont jusqu'à doubler leur changement de structure + numérique.

Par conséquent, on retrouve cette distinction entre les groupes : les experts ne produisent pas le même type d'erreurs de rappel que les deux autres groupes.

Il faut également ajouter que 95% des problèmes rappelés avec une structure nouvelle concerne le problème n°5. En effet, celui-ci devient un problème plus simple de la forme :

Etat initial, une transformation et recherche de l'état final, c'est à dire un problème de type Changement d'état.

CONCLUSION

L'intérêt de cette étude est de mettre en évidence la pluralité de schémas différenciés de problèmes en fonction du degré d'expertise des sujets.

L'articulation de trois paradigmes complémentaires nous renseigne sur la typologie possible des problèmes en fonction de leur difficulté; nous permet d'approcher ce qui est de l'ordre des conduites du sujet en tant qu'activation de connaissances relatives aux problèmes additifs; enfin elle constitue un moyen d'apercevoir le lien qu'effectue l'enfant entre l'énoncé d'un problème et ses schémas de problèmes.

De plus, l'utilisation du paradigme expert/novice avec un degré faible d'expertise entre les enfants laisse entrevoir qu'il y aurait bien une complexification progressive des schémas de problèmes.

Identifier les relations et formuler des questions cohérentes supposent une réflexion sur la structure des relations constituant divers types de problèmes. Cette réflexion est alimentée par des schémas de connaissances associés à ces types de problèmes. Elle conduit donc à l'instanciation de certains schémas de problèmes et donc à l'identification de l'élément inconnu sur lequel porte la question. Les résultats indiquent que la structure même du problème agit davantage que les données numériques ou le thème de l'énoncé sur le type de représentation sémantique. On constate qu'en fonction de la structure des problèmes, les sujets ont instancié différents schémas de problèmes. Un nombre plus important de ces derniers chez les enfants experts leur a permis d'élaborer des créations d'énoncés plus difficiles et d'obtenir une meilleure résolution aux problèmes fournis.

De nouvelles perspectives de recherches devraient donc s'ouvrir davantage au niveau de la compréhension d'énoncé que sur les procédures de résolution. En effet, l'identification des informations pertinentes semble jouer un rôle dans la construction des schémas de problèmes additifs des enfants.

Si les schémas de problèmes diffèrent selon le niveau d'expertise des enfants, nous pouvons supposer que le traitement des informations ne porte pas sur les mêmes éléments de l'énoncé

Une analyse différentielle des performances des enfants à ce type d'épreuves conjointement à une tâche de résolution approcherait l'activation des connaissances mise en jeu au cours de ces travaux.

Les études menées en Psychologie du développement et en didactique des Mathématiques sont étroitement liées. Elles permettent d'apprécier les moyens mis à la disposition de l'enfant dans sa compréhension des problèmes et de tenter de mettre en évidence les facteurs différenciateurs des capacités de l'enfant en situation de résolution.
Les problèmes arithmétiques constituent donc un support intéressant pour comprendre l'échec des enfants en situation scolaire. Il faut insister sur le fait que l'enfant est confronté à une double tâche : une lecture d'énoncé et une mise en oeuvre de stratégies de résolution.
Par conséquent, l'approche des problèmes arithmétiques rencontre ces deux dimensions qui sont primordiales dans la construction et l'utilisation des connaissances par l'enfant.

ANNEXE N°1

TYPOLOGIE DES PROBLEMES REGROUPES PAR NIVEAUX

NIVEAU 0 : Problèmes impossibles

NIVEAU 1 : Problèmes de type changement (CH)

a) CH1 : recherche de l'état final

b) CH2 : recherche d'une transformation (Ei et Ef connus)

c) CH3 : recherche de l'état initial

NIVEAU 2 : Problèmes de type combinaison (CB)

a) CB1 : Transformations identiques

b) CB2 : Transformations différentes

NIVEAU 3 : Problèmes de type comparaison (CP)

a) CP2 : 2 équations

b) CP3 : 3 équations

c) CP4 : 4 équations

d) CP5 : 5 équations

e) CP6 : 6 équations

NIVEAU 4 : Composition de transformations (CT)

ANNEXE N°2

PROBLEMES FOURNIS :

Problème 1 : CH2

Jean part en classe le matin avec 0 billes. A la première récréation, il gagne 38 billes à Paul et 24 billes à Henri. L'après-midi, il refait une partie de billes. Quand il rentre chez lui, il possède 82 billes. Combien de billes a t-il gagné l'après-midi?

Problème 2 : CH3

Isabelle pense à un nombre de billes. Elle lui ajoute 8 et trouve 23. A quel nombre de billes a t-elle pensé?

Problème 3 : CP3a

4 enfants ont comparé le contenu de leurs sacs de billes. Michel dit: " J'ai 78 billes de plus que Laurence, 14 billes de plus que Didier, mais 41 billes de moins que Yann. Michel a 155 billes. De quel nombre de billes dispose chaque enfant?

Problème 4 : CP3b

A la fin de la récréation, trois enfants comptent leurs billes : Laurence en a 3 de plus que Fabrice, et Claude 2 de plus que Laurence. A eux trois, ils ont en 44. Combien de billes possède chaque enfant?

Problème 5 : CT

Bruno joue deux fois au billes. Il fait un jeu puis un autre jeu. Au second jeu, il perd 7 billes. Après les deux jeux, il a gagné 3 billes. Qu'est il arrivé au premier jeu?

QUELQUES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BASTIEN, C.** (1987). *Schèmes et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant.* Paris. P.U.F.

- **BASTIEN, C.** (1994). *La recherche sur le raisonnement chez l'enfant.* Psychologie Française, n°39-2, 205-212

- **BIDEAUD, J., MELJAC, C. & FISCHER, J.P.** (1991). *Les chemins du nombre.* Lille : P.U.L.

- **BRAINERD, C.J. & REYNA, V.F.** (1993). *Fuzzy memory and mathematic in the classroom.* In Memory in Everyday Life. Elsevier Science Publishers. 91-133.

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

- **EHRLICH, S.** (1990). *Sémantique et Mathématiques. Apprendre-enseigner l'arithmétique simple.* Eds Nathan, 19-69.

- **ESCARABAJAL, M.C.** (1984). *Compréhension et résolution de problèmes additifs.* Psychologie Française, n°29, 247-252.

- **ESCARABAJAL, M.C.** (1988). *Schémas d'interprétation et résolution de problèmes arithmétiques.* Revue Française de Pédagogie, n°82, 15-21.

- **FAYOL, M.** (1990). *L'enfant et le nombre.* Delachaux & Niestlé.

- **FAYOL, M. ABDI, H. & GOMBERT, J.E.** (1987). *Arithmetics problems formulation and working memory load.* Cognition and instruction, 4(3), 183-202.

- **KINTSCH, W.** (1986). *Learning from text.* Cognition and instruction, n°3, 87-108.

- **LEMOYNE, G., GIROUX, J. & BIRON, D.** (1990). *Connaissances utilisées par des élèves de 8 à 12 ans dans la formulation de problèmes arithmétiques concrets.* European Journal of Psychology of Education, Vol. 5, n°3, 273-291.

- **LOVETT, M.C. & ANDERSON, J.R.** (1994). *Effects of solving related proofs on memory and transfer in geometry problem solving.* Journal of Experimental Psychology, Vol.29, n°2, 366-378.

- **NGUYEN-XUAN, A.** (1984). *Apprendre en résolvant des problèmes : le système humain et les systèmes artificiels.* Psychologie Française, n°29, 3/4, 235-242.

- **PRIEST, A.G. & LINDSAY, R.O.** (1992). *New light on novice-expert differences in physics problem solving.* British Journal of Psychology, n°83, 389-405.

- **RICHARD, J.F.** (1990). *Les activités mentales.* Ed. Armand Colin

- **RICHARD, J.F.** (1994). *La résolution de problèmes : bilan et perspectives.* Psychologie Française , n°39-2, 161-175.

- **RILLEY, M.S., GREENO, J.G. & HELLER, J.I.** (1983). *Development of children's problem-solving ability in arithmetic.* In H.P. Ginsburg (Ed), The development of mathematical thinking. New-York : Academic Press.

- **ROSENTHAL, D.J. & RESNICK, L.B.** (1974). *Children's solution processes in arithmetic word problems.* Journal of Educationnal Psychology, Vol.66, n°6, 817-825.

- **SILVER, E.A.** (1981). *Recall of mathematical problem information : solving related problems.* Journal for Research in Mathematics Education., Vol.12, n°1, 54-64.

- **VERGNAUD, G.** (1982). *A classification of cognitive tasks and operations of though involved in addition and substraction problems.* In T.P. Carpenter, J.M. Moser & T.A. Romberg (Eds), Addition and substraction : A cognitive perspective. Hillsdale, Erlbaum.

- **VERGNAUD, G.** (1991). *L'appropriation du concept de nombre : un processus de longue haleine.* In Bideaud, Meljac & Fischer, Les chemins du nombre, P.U.L.

- **VERGNAUD, G.** (1994). *Le raisonnement en physique et en mathématiques.* Psychologie Française, n°39-2, 153-160.

- **VERGNAUD, G. & DURAND, C.** (1976). *Structures additives et complexité psychogénétique.* Revue Française de Pédagogie, n°36, 28-43.