Glossa, les cahiers de l'Unadrio, n° 32 (14-19), 1992,

Summury. Numerical Abilities : A neuropsychological approach. *This article presents a review of cognitive neuropsychological works in the area of numerical abilities. A large part is accorded to the model proposed by McCloskey et al. (1985), and based on single case studies. This model distinguishes between number-processing (mechanisms for comprehending and producing numbers), and calculation system.*

Key words *: arithmetical facts, cognitive psychology, neuropsychology, number-processing, calculation system.*

LES ACTIVITÉS NUMÉRIQUES : UN ÉCLAIRAGE NEUROPSYCHOLOGIQUE[1]

par Mohammed BERNOUSSI

Mohammed BERNOUSSI
Allocataire de Recherche
Moniteur de l'Enseignement Supérieur
(C.I.E.S. - Grand Ouest)

Laboratoire
de Psychologie Expérimentale
Université Rennes 2
6, av. Gaston Berger
35043 Rennes Cédex

[1] Je tiens à remercier le Pr. Alain Lieury, le Dr. Jean Julo, et M. Christophe Boujon pour leurs lectures & commentaires des toutes premières versions de ce travail

Les déficiences dans le calcul mental peuvent être d'origine multiple, et se manifester de diverses manières aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte. Ce travail ne peut donc traiter tous les types et manifestations de ces déficiences, nous nous proposons tout simplement de synthétiser un certain nombre de données et de résultats obtenus en neuropsychologie cognitive.

Il est classique, en psychologie, de distinguer une discipline s'intéressant au fonctionnement cognitif du sujet normal, et une autre ayant pour objet l'étude du sujet pathologique. Cette distinction est probablement justifiable tant au niveau conceptuel qu'au niveau méthodologique. Cependant, si nous considérons le sujet pathologique comme un individu possèdant les mêmes systèmes de traitement de l'information que le sujet normal, mais dont un (ou plusieurs) de ces modules est déficient*, on peut aisément imaginer l'éclairage que l'étude des pathologies peut apporter à la psychologie du «normal». C'est dans cet esprit que se situent les travaux en neuropsychologie cognitive.

* *McClosekey et al., 1985*

Les apports mutuels entre psychologie cognitive et neuropsychologie sont très enrichissants, car ils ont permis d'éclairer le fonctionnement cognitif dans plusieurs domaines : lecture*, processus de jugement**, transcodage des nombres*** ; voir aussi Seron, Deloche & Noël, 1991.

* *Beauvois & Derouesne, 1979*
** *Micieli & al., 1983*
*** *Deloche & Seron, 1982*

Dans ce travail nous nous intéresserons plus particulièrement au calcul mental. Après une brève présentation de l'apport de la psychologie cognitive dans ce domaine, nous exposerons quelques résultats obtenus en neuropsychologie.

I - Le calcul : perspective cognitive

L'intérêt porté au calcul mental, et au nombre en général, n'est pas récent en psychologie. En effet, au niveau de la psychologie francophone, nous «fêtons» le 50ème anniversaire de la parution du livre de Piaget & Szeminska (1941). D'autres travaux, bien évidemment, ont été publiés dans ce domaine bien avant ce livre. Mais dans la conception cognitive actuelle, les modes d'approche ont changé.

En effet, il est indéniable qu'actuellement la psychologie cognitive est de loin la discipline la plus fertile en psychologie. Le but de cette discipline, selon la définition de Richard & George (1986), est de chercher des régularités derrière les conduites, et d'en rendre compte en invoquant des entités non observables telles que les connaissances activées ou disponibles, opérations, séquences de traitement, buts et sous-buts envisagés, etc.

L'une des techniques lutilisées en psychologie cognitive actuellement est la mesure de temps de réaction (TR), ou *chronométrie mentale**. C'est une technique déjà ancienne, utilisée pour la première fois en Psychologie par Donders (1868 : date de la parution de l'article original en allemand)*. Dans cette méthode, on considère que chaque processus mental demande du temps lors de son exécution, l'addition de l'ensemble de ces temps constitue un temps total qui est celui que met le sujet à répondre ou à réagir. Si un processus prend beaucoup de temps, il allongera le temps de réaction global. Ainsi, l'analyse des TR donne une indication sur les processus mis en jeu dans une tâche donnée.

** Posner, 1978*

cf. pour revue Jensen, 1986 ; Posner, 1978).

Dans le domaine de l'arithmétique, plusieurs études ont utilisé la technique chronométrique afin de déterminer les processus impliqués dans le calcul mental*. La première étude appartenant à ce domaine est celle de Parkman & Groen (1971). Ces auteurs se sont intéressés aux additions simples (a + b = c). Ils partent de l'hypothèse de l'existence d'un compteur interne incluant deux processus élémentaires : l'initialisation et l'incrémentation :

** (voir pour revue Cornet & al., 1988 ; Fayol, 1985, 1990).*

- l'**initialisation** est l'affectation de la valeur de l'un des deux termes à additionner au compteur dès le départ.
- l'**incrémentation** est l'ajout point par point de la valeur de l'autre terme au compteur.

Le temps nécessaire à l'initialisation est supposé être constant. Le TR global va être exprimé en fonction du temps de l'initialisation (a), additionné au temps d'incrémentation simple (b), multiplié par le nombre de fois (x) où celle-ci est activée. L'équation s'écrit donc :

$$TR = a + b.x$$

Cette équation correspond à celle d'une droite. Il suffit donc d'effectuer une analyse de régression, et de chercher la meilleure variable prédictive des TR, pour découvrir le terme incrémenté. C'est la démarche que les auteurs ont suivie, et les résultats montrent que le meilleur ajustement est obtenu à l'aide de la variable x qui correspond à la plus petite valeur à additionner. Ainsi, quand on exécute l'addition suivante : "4 + 7", on assigne la valeur la plus grande au compteur (7), et on additionne la valeur la plus petite (4) un par un. Une interprétation psychologique de ce modèle d'incrémentation est l'intériorisation du comptage sur les doigts, qui devient de plus en plus automatique.

Ce modèle s'ajuste parfaitement aux données obtenues chez des enfants montrant que le temps de calcul augmente linéairement (proportionnellement en fonction du nombre le plus petit). Malgré les quelques modifications introduites*, et qui dépassent le cadre de ce travail, ce modèle a été confirmé par plusieurs autres travaux*. En outre, cette procédure a été même retrouvée chez des enfants n'ayant pas subi d'apprentissage préalable*.

** Cf Groen & Parkman, 1972*

** Svenson, 1975 ; Svenson & al., 1976, 1980 ; Hitch & al., 1983*

** Groen & Resnick, 1977*

En revanche, chez les adultes, il semblerait que le processus mis en jeu soit un processus de récupération en mémoire*. En effet, deux autres chercheurs** aboutissent à des résultats indiquant que les sujets adultes récupèrent le résultat des additions simples *(les faits arithmétiques)* en mémoire. Depuis, plusieurs études* ont confirmé cette récupération en mémoire. Mais paradoxalement, les temps de réaction de l'addition sont proportionnels au produit des deux termes.

** Groen & Parkman, 1972*

*** Ashcraft & Battaglia, 1978*

** Miller & al., 1984 ; Geary & al., 1986 ; Widaman & al., 1989*

Confronté à la résolution d'une addition simple, l'individu adulte récupère la somme d'un réseau en mémoire à long terme. Cette récupération se fait de la façon suivante : par exemple, pour récupérer la somme de «3 + 2», la recherche va parcourir 3 cases (le 1er terme de l'addition) multiplié par 2 cases (2ème terme), soit une surface correspondant à 6 cases du réseau mémoire, c'est-à-dire **le produit.**

Le réseau mémoire des faits arithmétiques est conçu comme une matrice carrée à double entrée. A chaque entrée de la matrice se trouvent les entiers naturels de 0 à 9 (termes de l'addition) appelés *Nœuds*. A l'intersection des lignes et colonnes de la matrice, se trouve la somme des deux termes. La distance séparant les nœuds de la somme est interprétée comme une distance *symbolique* (similaire à la notion de distance *sémantique**.

** Collins & Quillian, 1970, pour un résumé en Français voir Lieury, 1990).*

Cette conception du réseau mémoire des faits arithmétiques a été quelque peu abandonnée par des auteurs tels Campbell & Graham (1985) ; Campbell (1987 a et b) et Siegler & al. (1984) ; Siegler (1986). Ces chercheurs postulent l'existence de plusieurs résultats possibles imaginés comme des associations de force variable ; pour un même problème, il y aurait donc plusieurs candidats possibles. Ainsi, face à un problème, c'est le résultat le plus fréquent qui va être produit comme réponse. Ainsi, au problème **6 fois 4**, une réponse erronée fréquente est **32** par confusion avec **8 fois 4**. Ces associations et leurs forces varient d'un individu à l'autre en fonction de l'apprentissage, la familiarité, la fréquence d'apparition des problèmes..., des problèmes en question, l'élève ou le candide ne réagissant évidemment pas comme le mathématicien ou le comptable*.

** Bernoussi, en préparation*

Parallélement à ces travaux, Baroody (1983, 1984) pense que les processus mis en jeu dans l'arithmétique sont des processus **procéduraux** : l'individu fait appel à un certain nombre de **procédures** ou règles pour résoudre des problèmes arithmétiques. On peut citer comme exemple de règles : N x 1 = N, N + 0 = N, N x 0 = 0... comme dans l'algèbre.

En conclusion, les modèles proposés en psychologie cognitive, mettent pour la plupart l'accent sur la récupération en mémoire des faits arithmétiques. Cependant quelques travaux suggèrent l'utilisation exclusive* de connaissances procédurales, d'autres pensent que les deux types de connaissances (déclaratives et procédurales) interviennent dans ce type de tâche.

** Baroody, 1983, 1984*

Les travaux en neuropsychologie vont apporter un éclairage des mécanismes, et des déficiences dans le calcul. L'approche demeure bien évidemment différente de celle de la psychologie cognitive, mais complémentaire comme nous allons le voir.

II - L'approche neuropsychologique

Dans cette partie, nous allons exposer un modèle neuropsychologique du calcul. Ce modèle est issu des travaux de l'équipe de John Hopkins University et du Massachustetts General Hospital* ; notamment les travaux de A. Caramazza, M. McCloskey, S. Sokol. Cette équipe a tenté d'étudier les modèles cognitivistes que nous avons présentés au début de cet article en adoptant la démarche neuropsychologique par l'étude de cas*. Ils aboutissent à une conception modulaire de traitement de l'information numérique*.

** Baltimore, USA*

** Kahn, 1988*

** Voir Fodor, 1986 ; Lieury et al. (paraître) à propos des conceptions modulaires)*

La démarche qui sous-tend les travaux neuropsychologiques peut se résumer en trois postulats de base* :

** Cf Caramazza & McCLoskey, 1988 ; Caramazza, 1986*

- on considère que la performance (dans des activités cognitives) d'un individu normal est dûe à un ensemble de traitements de système cognitif.

- la performance du sujet déficient (pathologique) reflète une lésion fonctionnelle du système cognitif cité ci-dessus.

- l'activité de recherche de base en neuropsychologie cognitive va consister à déterminer les modifications qui se sont produites au niveau du système cognitif, et qui ont entraîné la «lésion fonctionnelle». La compréhension de ces modifications représente un intérêt dans l'approche pathologique, mais aussi pour une meilleure compréhension du fonctionnement cognitif chez l'individu normal. A partir d'une série d'études de cas pathologiques, McClosekey et al. (1985) proposent un modèle neuropsychologique du calcul (fig. 1). Ce modèle comporte trois systèmes cognitifs.

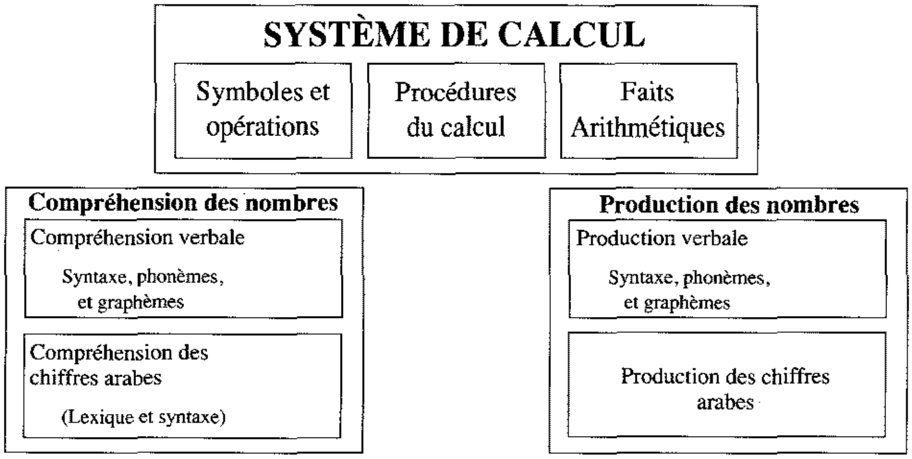

Fig. 1 : Représentation du traitement modulaire du nombre
(traduit et adapté d'après McCloskey, Caramazza et Basili, 1985)

- un système de calcul : ce système comporte un certain nombre de modules qui permettent la compréhension des symboles et des opérations arithmétiques, les procédures du calcul et les faits arithmétiques (tables d'addition et de multiplication) stockés en mémoire ;
- un second système permettant la compréhension des nombres, leur syntaxe... ;
- et enfin, un troisième système permettant la production (verbale ou écrite) des nombres.

Toute activité numérique nécessite un bon fonctionnement de ces systèmes. Chez le sujet normal, ces systèmes fonctionnent continuellement, mais il est difficile de les mettre en évidence. Cependant, on constate qu'il existe des pathologies qui n'affectent qu'un seul de ces systèmes. En effet, plusieurs observations cliniques chez des patients mettent en évidence le fait qu'un module peut être déficient, sans pour autant que l'autre le soit. L'étude des «lésions fonctionnelles» chez des patients, va permettre de comprendre le rôle des systèmes déficients chez le sujet normal. Dans la partie suivante, nous allons présenter quelques études de cas mettant en évidence des différents systèmes.

Système du calcul

Sokol et al. (1990) décrivent le cas d'un patient, G.E., capable de comprendre et de produire des nombres, mais incapable d'exécuter des multiplications simples. Ainsi, on lui a présenté 22 fois, les 100 multiplications issues des combinaisons possibles entre 0 et 9. Son pourcentage d'erreur était de 25 %. Une étude détaillée de ses erreurs montre que seuls les problèmes comportant un 0 (zéro) présentent une réelle difficulté : 100 % de mauvaises réponses. Ainsi, quand on présente à ce patient un problème de type : «3 x 0 =»; sa réponse est «3». Or, ce type de problèmes n'exige pas une récupération en mémoire, en effet, ils sont résolus par la règle «N x 0 est toujours égal à 0»*. Si on élimine les problèmes comportant un facteur nul de l'analyse des résultats du patient G.E., le pourcentage d'erreurs baisse à 9 %. Par cette étude de cas, on met donc clairement en évidence une dissociation entre la récupération des faits numériques en mémoire (que le patient G.E. était capable d'effectuer) et l'utilisation des règles et procédures.

* *Ashcraft et al., 1984 ; Baroody, 1983, 1984 ; Campbell et al., 1985 ; Stazyk et al., 1982*

Inversement, McCloskey & al. (1985) décrivent deux patients W.W. et H.Y. capables de récupérer en mémoire les faits numériques, mais incapables d'exécuter correctement les procédures de calcul. Voici quelques exemples d'erreurs rapportés par les auteurs :

$$\begin{array}{r} 45 \\ +\ 8 \\ \hline 1213 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 142 \\ \times\ \ 5 \\ \hline 52010 \end{array}$$

Ainsi, au problème «45 + 8 = », ils répondent : 1213. C'est à dire qu'ils récupèrent correctement en mémoire les résultats de 5 + 8 : 13, et 4 + 8 : 12, mais **juxtaposent ces deux sommes** au lieu d'effectuer correctement l'opération de la retenue (procédures d'addition : idem pour la multiplication).

Par ailleurs Elizabeth Warrington (1982) de l'hôpital de Londres décrit un patient, physicien de profession, qui était capable de définir toutes les opérations arithmétiques (l'addition, la multiplication, avec les retenues, etc), mais incapable de récupérer directement en mémoire («par cœur») la somme de deux nombres simples (compris entre 0 et 9).

Les études de cas présentées ci-dessus, montrent clairement qu'un certain nombre d'atteintes spécifiques peuvent affecter soit les connaissances procédurales, soit les connaissances déclaratives dans le domaine du calcul. Les sujets sont incapables d'effectuer correctement des calculs élémentaires (additions, multiplications). Cependant, ces patients sont capables de lire des nombres, de les écrire... ce qui renforce l'hypothèse d'une séparation entre le système du calcul, et les systèmes de compréhension et production des nombres.

Systèmes de compréhension et de production des nombres

Par ailleurs, d'autres chercheurs ont mis en évidence l'existence de deux autres modules : compréhension et production du nombre. Ainsi, Benson & Denckla (1969) * décrivent un patient capable de comprendre mais incapable de produire des nombres. Benson & Denckla ont présenté visuellement à ce patient des additions en lui demandant de reconnaître la somme parmi un certain nombre de réponses pièges ; ce patient était

* *(voir aussi Fayol, 1990)*

capable de reconnaître la bonne réponse, par contre, quand on lui présentait le chiffre 4 par exemple, il lisait 6 ou 9... Un autre cas similaire est décrit par McCloskey et al. (1986). Le patient H.Y. avait une déficience de production **orale** des nombres. Ainsi, quand on lui demandait combien d'œufs il y a dans une douzaine, il répondait «seize» mais écrivait 12. Quand on lui présentait la multiplication «2 x 5 =», il lisait «huit fois cinq», mais répondait (par écrit) : 10. Ceci met clairement en évidence une dissociation entre un module de compréhension des nombres et un module de production.

En résumé, Sokol et al. (1989) illustrent le fonctionnement du modèle proposé par McCloskey et al. (1985). Un individu confronté à la résolution d'un problème arithmétique commence tout d'abord par l'encodage (lecture et compréhension) de celui-ci. Dans cette première étape, c'est le module «Compréhension du nombre» qui va intervenir. La seconde étape, va consister en la recherche de la réponse : intervention du «Système de calcul». La dernière étape, et qui correspond à la réponse, va se faire grâce au «Système de production des nombres».

Ce modèle semble rendre compte d'une part des processus cognitifs impliqués dans les activités numériques (identification & production des nombres, opérations arithmétiques) ; et offrir d'autre part un cadre explicatif de certaines déficiences en calcul. Cependant, le problème de la validation expérimentale reste posé. En effet, si la mise en évidence des modules chez les patients est relativement facile à réaliser, la vérification expérimentale chez le sujet normal demeure difficile. Chez le sujet normal, outre la complexité de la mise en évidence de l'intervention des différents modules, s'ajoutent les interactions entre modules et la variabilité intra-individuelle. En effet, l'individu n'utilise pas nécessairement la même stratégie pendant une même session expérimentale ; problème souligné par Siegler (1987). Sur ce point, et bien d'autres, une synthèse des travaux en neuropsychologie, psychologie cognitive, et d'autres sciences cognitives est souhaitable et même nécessaire pour permettre une meilleure compréhension du fonctionnement humain.

Références

— ASHCRAFT, M.H., & BATTAGLIA, J., (1978), Cognitive arithmetic : evidence for retrieval and decision processes in mental addition, *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, vol. 4, N° 5, 527-538.

— ASHCRAFT, M.H., FIERMAN, B.A., & BARTOLOTTA, R., (1984), The production and the verification tasks in mental addition : an empirical comparison, *Developmental Review*, 2, 213-236.

— BAROODY, A.J., (1983), The development of procedural knowledge : an alternative chronometric trends of mental arithmetic, *Developmental Review*, 3, 225-230.

— BAROODY, A.J., (1984), A reexamination of mental arithmetic models and data : a reply to Ashcraft, *Developmental Review*, 4, 148-156.

— BENSON, D.F., & DENCKLA, M.B., (1969), Verbal paraphasia as a source of calculation disturbance, Archives of Neurology, 21, 96-102.

— BERNOUSSI, M., LIEURY, A., ALLAIN, H. (à paraître). Le calcul : mécanismes psychologiques et neuropsychologiques. **In.** *Neuropsy.*

— BERNOUSSI, M. (en préparation). Les stratégies de résolution de problèmes arithmétiques simples : le modèle de Siegler.

— CAMPBELL, J.I.D., & GRAHAM, D.J., (1985), Mental multiplication skill : structure, processes and acquisition, *Canadian Journal of Psychology*, 39, 338-366.

— CAMPBELL, J.I.D., (1987 a), Network interference and metal multiplication, *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, vol. 13, N° 1, 338-366.

— CAMPBELL, J.I.D., (1987 b), The role of associative interference in learning and retrieving arithmetic facts, **In.** J. Sloboda, & Rogers (Eds), Cognitive processes in mathematics, Oxford, England : Oxford University Press.

— CARAMAZZA, A. (1986). On drawing inferences about the structure of normal cognitive systems from the analysis of patterns of impaired performance : The case for single-patient studies, *Brain and Cognition*, 5, 41-66.

— CARAMAZZA, A., & McCLOSKEY, M., (1988). The case for single-patient studies, *Cognitive Neuropsychology*, 5 (5), 517-528.

— CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M., (1987), Dissociation of calculation processes, In G. Deloche, & X. Seron (Eds), Mathematical disabilities : a cognitive neuropsychological perspective, (pp. 221-234), Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates).

— CHANGEUX, J.-P., & CONNES, A., (1989), Matières à pensée, Paris, Editions O. Jacob.

— COLLINS, A., & QUILLIAN, R.M., (1970), Does the category size affect categorisation time ?, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9, 432-438.

— CORNET, J.-A., SERON, X., DELOCHE, G., & LORIES, G., (1988), Cognitive models of simple mental arithmetic : A critical review, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, Vol. 8, N° 6.

—FAYOL, M., (1985), Nombre, numération, et dénombrement, que sait-on de leur acquisition ?, *Revue Française de Pédagogie*, N° 70, 59-77.
—FAYOL, M., (1990), L'enfant et le nombre : du comptage à la résolution de problèmes, Delachaux & Niestlé, coll. APP.
—FODOR, J.A., (1986), La modularité de l'esprit : Essai sur la psychologie des facultés, (traduit par A. Gerschenfeld), Les éditions de Minuit, Paris.
—GEARY, D.C., WIDAMAN, K.F., & LITTLE, T.D., (1986), Cognitive addition and multiplication : Evidence for a single memory network, *Memory & Cognition*, 14 (6), 478-487.
—GROEN, G.J., & PARKMAN, J.M., (1972), A chronometric analysis of simple addition, *Psychological Review*, vol. 79, N° 4, 329-343.
—GROEN, G.J., RESNICK, L.B. (1977). Can preschool children invent addition algorithms ?, *Journal of Educational Psychology*, 69 (5), 645-662.
—HITCH, G.J., ARNOLD, P., PHILLIPS, L.J. (1983). Counting processes in deal children's arithmetic, *British Journal of Psychology*, 74, 429-437.
—JENSEN, A. R. (1986). Methodological and statistical techniques for the chronometric study of mental abilities, **In.** C.R. Reynolds, & V.L. Willson (Eds). *Methodological and statistical advances in the study of individuals differences*, Plenum.
—KAHN, H.J., (1988), Acalculia : multiplication fact retrieval in normal and impaired subjects, **In**. J.M. Williams, & C.J. LONG, Cognitive approaches to neuropsychology, New-York : Plenum.
—LIEURY, A., (1990), Manuel de Psychologie Générale, Dunod, Paris.
—LIEURY, A., TREBON, P., BOUJON, C., BERNOUSSI, M., GANDON, J.-M., & ALLAIN, H. (à paraître), Le vieillissement des composantes de la mémoire, *L'Année Psychologique*.
—McCLOSKEY, M., CARAMAZZA, A., & BASILI, A., (1985), Cognitive mechanisms in number processing and calculation : evidence from dyscalculia, *Brain & Cognition*, 4, 171-196.
—McCLOSKEY, M., SOKOL, S.M., & GOODMAN, R.A., (1986), Cognitive processes in verbal-number production : inferences from the performance of brain-damaged subjects. *Journal of Experimental Psychology : General*, Vol. 115, N° 4, 307-340.
—MILLER, K., PERLMUTTER, M., & KEATING, D., (1984), Cognitive arithmetic : comparison of operations, *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 10, N° 1, 46-60.
—PARKMAN, J.M., & GROEN G.J., (1971), Temporal aspects of simple addition and comparison, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 89 N° 2, 335-342.
—POSNER, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*, Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
—RICHARD, J.-F., & GEORGE, C. (1986). L'approche psychologique de la cognition, **In.** J.-L. Le Moigne (Ed.). *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence*, Paris, Fondation Diderot, Fayard.
—SERON, X., DELOCHE, G., NOEL, M.-P. (1991). Un transcodage des nombres chez l'enfant : la production des chiffres sous dictée, **In.** J. Bideaud, C. Meljac, & J.-P. Fischer (Eds), *Les chemins du nombre*, Lille, Presses Universitaires de Lille.
—SIEGLER, R.S., & SHARGER, J., (1984), Strategy choices in addition and subtracation : How do children know what to do ?, **In.** C. Sophian (Ed), The origins of cognitive skills, Erlbaum, Hillsdale, NJ.
—SIEGLER, R.S., (1986), Unities across domains in children's strategy choices, **In** M. Perlmutter (Ed), Perspectives for intellectual development : Minnesota symposium on child development, Vol. 19, Hillsdale, NJ : Erlbaum.
—SIEGLER, R.S., (1987), The perils of averaging data over strategies : an example from children's addition, *Journal of Experimental Psychology : General*, 106 (3), 250-264.
—SOKOL, S.M., & Mc CLOSKEY, M., (1990), Cognitive mechanisms in calculation, à paraître **In.** R. Sternberg, P.A. French (Eds), Complex problem solving : principales and mechanisms, Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
—SOKOL, S.M., McCLOSKEY, M., Cohen, N.J., (1989), Cognitive représentation of arithmetic knowledge : evidence from acquired dyscalculia, **In.** A.F. Bennett, & K.M. McCarkey (Eds), Cognition in individual and social contexts, Amsterdam : Elsevier.
—STAZYK, E.H., ASHCRAFT, M.H., & HAMANN, M.S., (1982). A network approach to mental multiplication, *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 8, 320-335.
—SVENSON, O. (1975). Analysis of time required by children for simple addition, *Acta Psychologica*, 39, 289-302.
—SVENSON, O., HEDENBORG, M.-L., & LINGMAN, L., (1972). On children's heuristics for simple additions, *Scandinavian Journal of Educational Research*, 20, 161-173.
—SVENSON, O., & HEDENBORG, L., (1980). Counting processes in simple addition, *Scandinavian Journal of Educational Research*, 24, 93-104.
—WARRINGTON, E.K., (1982), The fractionation of arithmetical skills : a single case study, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 34 A, 31-51.
—WIDAMAN, K.F., GEARY, D.C., CORMIER, P., & LITTLE, T.D., (1989), A componential model for mental addition, *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15, N° 5, 898-919.