
Collection Neuropsychologie

**NEUROPSYCHOLOGIE
DES TROUBLES DU CALCUL
ET DU TRAITEMENT DES NOMBRES**

Sous la direction de :

Mauro PESENTI et Xavier SERON

SOLAL, éditeur
111, rue Sainte-Cécile
13005 Marseille

LA DYSCALCULIE DÉVELOPPEMENTALE : UN ÉTAT DE LA QUESTION

INTRODUCTION

Des descriptions relativement détaillées d'enfants dyscalculiques se trouvent déjà chez Guttman en 1937. Ainsi par exemple, DW est un enfant de 10 ans dont le quotient intellectuel est normal et qui ne présente aucun retard en lecture ou en écriture. En ce qui concerne le domaine des nombres, en revanche, il présente une dissociation entre une bonne capacité de lecture des nombres arabes (aucune difficulté pour des nombres composés de 5 chiffres) et une faiblesse dans l'écriture des nombres arabes sous dictée. En effet, dans ce cas il produit des zéros surnuméraires, c'est-à-dire des erreurs de type syntaxique. Par ailleurs, il ne maîtrise pas correctement les algorithmes du calcul écrit; en particulier, les procédures de report dans le cas d'additions et de soustractions lui posent problème. Des exemples de ces erreurs d'écriture sont fournis à la Table 1.

Pourtant, cela ne fait qu'une dizaine d'années environ que la (neuro)psychologie s'intéresse plus sérieusement à la dyscalculie chez l'enfant. Malheureusement, cet intérêt est loin d'égaler le succès rencontré par l'étude de la dyslexie. Dans ce chapitre, nous tenterons de dresser un portrait de l'état

six cent septante-deux	↳	672
trois mille deux cent vingt-huit	↳	302028
vingt mille quatre cent dix-huit	↳	20004018

Table 1 : Exemples d'erreurs produites par DW en écriture sous dictée de nombres arabes (d'après Guttman, 1937).

1. Unité de Neuropsychologie Cognitive, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgique).

actuel du champ. Après une définition de la dyscalculie développementale, nous nous intéresserons à sa fréquence d'apparition et présenterons les grandes classifications qui ont été proposées pour cette pathologie. Enfin, nous nous interrogerons sur les facteurs cognitifs qui pourraient être à la base de ces difficultés d'apprentissage.

DÉFINITION

Selon Bakwin et Bakwin (1960), la dyscalculie développementale serait une "difficulté à compter". Pour Cohn (1968), il s'agirait d'une incapacité à reconnaître et manipuler les nombres. Une définition plus spécifique est proposée par Kosc (1974) : il s'agirait "d'un trouble structurel des habiletés mathématiques dont l'origine est génétique ou liée à un problème congénital (...), et qui se présente sans un trouble plus général des fonctions mentales" (p. 47). Une définition proche de celle-ci est donnée par Temple (1992b) : la dyscalculie développementale serait "un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifesterait chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficits neurologiques acquis" (p. 211).

Trois caractéristiques communes se retrouvent dans les définitions de Kosc et de Temple. Premièrement, le domaine visé est relativement large : il ne se restreint pas au comptage ou au calcul mais inclut ces deux activités ainsi que les autres compétences numériques. Deuxièmement, ce trouble doit s'inscrire dans un contexte d'intelligence normale. Troisièmement, le problème de la base biologique du trouble est posé et introduit ainsi la distinction entre dyscalculie acquise et développementale. Selon Temple (1992a), les troubles développementaux font généralement référence à des problèmes pour lesquels aucune cause pathologique n'est reconnue de manière explicite. Ces troubles apparaissent au fur et à mesure du développement de l'enfant et touchent des domaines ou des habiletés qui n'étaient pas maîtrisés antérieurement par l'enfant. A l'inverse, les troubles acquis apparaissent chez des enfants dont le développement est au départ normal, mais qui, suite à un problème de type neurologique, est perturbé. Dans ce cas, des habiletés qui étaient présentes et maîtrisées correctement disparaissent ou sont altérées. En d'autres mots, les dyscalculies développementales recouvriraient des désordres de l'acquisition des habiletés mathématiques alors que les acalculies acquises ou post-lésionnelles consisteraient en des régressions d'habiletés qui étaient au départ normales (Kosc, 1974). Dans la pratique cependant, cette discrimination est moins claire. Ainsi, certaines difficultés peuvent être considérées comme développementales parce qu'elles affectent le fonctionnement cognitif de l'enfant tout au long de son développement, tout en ayant une étiologie biologique explicite (par exemple, une anomalie génétique ou encore l'apparition récurrente de crises d'épilepsie).

Avant de clore cette première section sur la définition de la dyscalculie développementale, nous aimerions ajouter quelques mots sur le syndrome de Gerstmann. En effet, la dyscalculie développementale a régulièrement été interprétée comme faisant partie de ce syndrome plus global qui, outre les difficultés numériques faisait apparaître trois autres symptômes : (1) une dysgraphie, (2) une désorientation gauche-droite et (3) une agnosie digitale (Gerstmann,

1940). Des cas d'enfants présentant ce syndrome ont été rapportés dans la littérature (par exemple, Kinsbourne & Warrington, 1963; Benson & Geschwind, 1970; Grigsby, Kemper & Hagerman, 1987), mais l'unicité de ce syndrome a été remise en question. Ainsi, il a été montré que la force de l'association de ces quatre dysfonctionnements n'était pas plus importante que toute autre combinaison de fonctions liées au lobe pariétal. De plus, lorsque ces quatre déficits apparaissent, ils ne sont généralement pas isolés mais plutôt accompagnés d'autres difficultés cognitives (voir Benton, 1977). Enfin, il est tout à fait possible de rencontrer chez un patient deux ou trois de ces symptômes sans donc nécessairement voir l'ensemble des quatre présents.

Tout récemment cependant, une recherche de Fayol, Barrouillet et Marinthe (1998) a remis le syndrome de Gerstmann au goût du jour. Ces auteurs ont testé près de 200 enfants normaux, en maternelle (5;9 ans) puis quelques mois plus tard (6;5 ans). Ils montrent que les habiletés numériques mesurées au temps 1 et au temps 2 sont mieux prédites par les scores obtenus à un test de gnosie digitale du temps 1 que par ceux du test d'intelligence au temps 1. Cette corrélation entre gnosie digitale et mathématique (mesurée au temps 2) reste significative même quand l'âge et le niveau intellectuel sont contrôlés (corrélation partielle = 0.355). Ces résultats surprenants méritent certainement notre attention. De plus, un certain nombre de points communs semblent rassembler les patients, adultes ou enfants, qui présentent ce syndrome de Gerstmann. En effet, leur dyscalculie semble particulièrement profonde, touchant le sens même du nombre ou de la quantité (voir par exemple, le cas CG de Cipolotti, Butterworth & Denes, 1991, ou le cas JG de Delazer & Benke, 1997). Cette observation mériterait toutefois d'être analysée de manière systématique. Malheureusement, le lien théorique entre gnosie digitale et développement des capacités numériques reste pour le moins ténu (le rapprochement avec le comptage sur les doigts n'étant pas entièrement satisfaisant).

PRÉVALENCE DES DIFFICULTÉS NUMÉRIQUES

Le nombre d'études consacrées aux difficultés de lecture est bien plus impressionnant que celui des recherches sur les difficultés mathématiques. Ainsi, la banque de données Psyclit (de l'American Psychological Association) indique l'existence de 28 articles sur la dyscalculie chez l'enfant pour la période allant de 1974 à 1997 contre 747 sur la dyslexie développementale. Une disproportion similaire semble se dégager dans la pratique clinique. Ainsi, Guttmann (1937) rapporte que, sur la période où il avait vu 50 cas de retard de lecture, seuls 7 enfants avec difficultés en mathématique s'étaient présentés à la consultation. Ces chiffres incitent évidemment à penser que la dyscalculie est un problème beaucoup plus rare que la dyslexie. Pourtant, les études épidémiologiques indiquent qu'il n'en est rien. Ainsi, Kosci (1974) étudie 375 enfants tchécoslovaques de 10 à 12 ans et rapporte des difficultés numériques chez 6.4 % d'entre eux. Badian (1983) rapporte que sur 1476 enfants américains âgés de 7 à 14 ans, 3.6 % réussissent de façon médiocre les tests de mathématique (scores inférieurs au percentile 20 du Stanford Achievement Test), 2.2 % ont des problèmes isolés de lecture et 2.7 % autres enfants présentent

des retards à la fois en mathématique et en lecture. Enfin, en Grande-Bretagne, Lewis, Hitch et Walker (1994) observent des difficultés en mathématique chez 1.3 % d'un échantillon de 1056 enfants âgés de 9 à 10 ans, 3.9 % de problèmes en lecture et des difficultés dans les deux domaines chez 2.3 % des enfants.

Bien que les taux fournis ne correspondent pas parfaitement (cela étant sans doute lié à la variabilité des tests employés et des critères utilisés pour déterminer qu'un enfant est ou n'est pas en difficulté), toutes ces études s'accordent à montrer que l'incidence des troubles de l'apprentissage des mathématiques est quasi identique à celle des troubles de la lecture. Par ailleurs, elles indiquent également la proportion non négligeable de cas où les deux difficultés coexistent. Selon Hinshelwood (1917, cité par Temple, 1992b), cette co-morbidité serait due à la proximité géographique des zones cérébrales qui régissent ces deux fonctions². Ginsburg (1977) par contre, a suggéré que ce serait davantage dû au fait que ces deux habiletés requièrent l'acquisition d'un code symbolique formel. Plus récemment, certains auteurs ont proposé que des structures cognitives de base pourraient être nécessaires dans l'apprentissage de la lecture et des mathématiques et qu'une faiblesse à ce niveau engendrerait automatiquement l'association d'une dyslexie et d'une dyscalculie. Ainsi, des problèmes de mémoire de travail ont été observés chez des dyslexiques (Gathercole & Baddeley, 1993) mais semblent également caractéristiques des enfants dyscalculiques (voir plus loin dans ce chapitre). De la même manière, l'importance du rôle de la conscience phonologique a été avancée pour les deux pathologies (Gathercole & Baddeley, 1993; Geary, 1994). Toutefois, si cette co-morbidité est présente, il n'en reste pas moins important de souligner que les difficultés mathématiques apparaissent aussi fréquemment de manière isolée et qu'elles ne peuvent donc être considérées comme un syndrome général de retard de développement. Tous ces chiffres indiquent donc la nécessité et l'urgence à mettre en oeuvre des recherches pour comprendre davantage ce problème fréquent.

CLASSIFICATION

Classification anatomo-fonctionnelle

Parmi les tentatives de classement des différents types de troubles dyscalculiques, deux tendances se dégagent. La première vise en quelque sorte à valider le concept lui-même en tentant de répondre à la question de savoir s'il existe des troubles du calcul qui ne soient pas la simple résultante d'un trouble du langage plus global. Dans cette perspective, des auteurs comme Rourke et ses collègues (Rourke & Finlayson, 1978; Rourke, 1993; Rourke & Conway, 1997) ont entrepris une série d'études où ils comparent deux groupes d'enfants présentant le même niveau de difficulté en mathématique (mêmes scores moyens au Wide Range Achievement Test) mais se distinguant par la présence ou non de difficulté simultanées en lecture et en écriture. Sur cette base, ils pro-

2. Notons cependant que les travaux les plus récents suggèrent qu'il n'y aurait pas une seule zone cérébrale bien délimitée responsable de tous les traitements numériques mais que ces fonctions seraient plutôt gérées par une série de zones corticales relevant des deux hémisphères cérébraux (voir le chapitre de Dehaene et Cohen dans cet ouvrage).

posent de distinguer deux types de dyscalculie. Le premier type, caractéristique des enfants qui présentent également des problèmes de lecture et d'écriture, résulterait d'un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche : les difficultés en mathématiques ne seraient que la conséquence de difficultés plus générales du système verbal. Mais ils démontrent qu'il existe également un second type de dyscalculie qui apparaîtrait sans troubles langagiers associés. Celui-ci trouverait son origine dans un dysfonctionnement de l'hémisphère droit : les lacunes en mathématiques résulteraient de difficultés dans le raisonnement non verbal et les traitements visuo-spatiaux (notons cependant que le lien entre déficits visuo-spatiaux et trouble hémisphérique droit a fait l'objet de critiques).

Une distinction sur la base hémisphérique est également proposée par Spiers (1987). Celui-ci fait aussi l'hypothèse de problèmes plus généraux à la base des divers types de dyscalculie, mais il va plus loin que Rourke et ses collaborateurs dans le sens où il tente d'y associer des profils de difficultés numériques spécifiques. Selon lui, les enfants caractéristiques du syndrome de l'hémisphère droit seraient incapables de développer les schémas et relations spatiales nécessaires à la compréhension des concepts sous-jacents au système numérique et au calcul ; ils seraient alors incapables d'apprécier la numérosité d'un ensemble, et les principes de conservation n'émergeraient que suite à une instruction longue et laborieuse. Les dyscalculies hémisphériques gauches, par contre, concerneraient des enfants qui ont pu développer des compétences spatiales adéquates mais qui éprouvent des difficultés dans la mise en séquence des chiffres lors des procédures de calcul écrit, dans la mémorisation des faits arithmétiques ou encore au niveau de l'utilisation des règles de transcodage des nombres.

Classification basée sur la neuropsychologie de l'adulte

Le second système de classification adopte une perspective plus interne. Il ne s'agit plus de voir si la dyscalculie est associée à tel ou tel autre trouble mais plutôt d'introduire des distinctions sur la base des difficultés numériques elles-mêmes - autrement dit, sur le type de traitements des nombres qui posent problème. La plupart des typologies de ce genre présentent une filiation très claire avec les classifications dégagées dans le champ de la neuropsychologie des dyscalculies de l'adulte. Ainsi, Badian (1983) reprend la classification de Hécaen, Angerlergues et Houiller (1961). Ces auteurs distinguaient trois types d'acalculie acquise : (1) une acalculie résultant d'une alexie ou d'une agraphie des nombres, c'est-à-dire une incapacité à lire ou écrire les nombres ; (2) une acalculie spatiale qui consiste en un défaut dans l'organisation spatiale des nombres tel qu'un mauvais alignement ou une inversion des chiffres et (3) une anarithmétique, c'est-à-dire une difficulté dans le calcul lui-même. Badian reprend ces catégories et tente de les appliquer à un groupe d'enfants en difficulté d'apprentissage mathématique. Sur base de ces résultats, elle définit cinq groupes d'enfants dyscalculiques :

- 1 - *dyscalculie suite à une alexie ou une agraphie* pour les nombres ;
- 2 - *dyscalculie spatiale*, résultant d'un mauvais alignement des nombres (Figure 1) ;
- 3 - *anarithmétique* : bonne connaissance des faits arithmétiques mais confusion entre les stratégies de calcul ;

$$\begin{array}{r} 65 \\ +8 \\ \hline 613 \end{array}$$

Figure 1 : Erreur d'addition due à un mauvais alignement des nombres (d'après Badian, 1983).

- 4 - *dyscalculie liée à des troubles attentionnels* et dans la mise en séquence : dans les calculs écrits, ces enfants oublient les chiffres d'une colonne, ou bien, ils font une procédure de report mais ne la recomptent pas dans l'étape suivante ; ils ont également beaucoup de mal à mémoriser les tables ;
- 5 - *groupe mixte*.

Une autre typologie proposée par Kosci (1974) distingue :

- 1 - une *dyscalculie verbale* : l'enfant ne peut nommer des quantités de choses, des numéraux ou même des symboles d'opération ;
- 2 - une *dyscalculie lexicale* : l'enfant éprouve des difficultés à lire les symboles mathématiques (les signes d'opération, les nombres, les fractions, les décimales, les racines, les exposants, etc.) ;
- 3 - une *dyscalculie graphique* : l'enfant a du mal à écrire les nombres (ou symboles d'opération), les numéraux verbaux, et ce sous dictée ou même en copie ;
- 4 - une *dyscalculie practognostique* : il s'agit d'une difficulté dans la manipulation mathématique que ce soit avec des objets réels ou sous forme d'images (par exemple, difficultés de dénombrement, de comparaison ou d'estimation de quantités, d'ordination de bâtons selon leur grandeur, etc.) ;
- 5 - une *dyscalculie idéagnostique* : l'enfant ne parvient pas à comprendre les concepts ou les relations mathématiques qui sont requis pour le calcul mental (par exemple, un enfant pourrait écrire ou lire un nombre mais ne pourrait saisir ce que ce nombre représente) ;
- 6 - une *dyscalculie opérationnelle* qui correspond à une difficulté dans la réalisation des opérations mathématiques (par exemple, un enfant qui confondrait les opérations arithmétiques).

Cette typologie est indéniablement compliquée : il est ainsi malaisé de distinguer certains types, comme par exemple, le (1) et le (2). De plus, aucun modèle théorique n'y est rattaché.

Une classification plus simple a été proposée par Temple (1992b, 1994). Cet auteur traduit, chez l'enfant, les types de dyscalculie qui sont attendues chez l'adulte, suivant l'architecture cognitive proposée par McCloskey, Caramazza et Basili (1985) pour le calcul et le traitement du nombre. Ce modèle repose sur trois modules fonctionnellement indépendants : un système de compréhension des nombres, un système de production des nombres et un système de calcul. Le système de compréhension a pour fonction de générer, sur base d'une entrée numérique (numéral arabe ou verbal), une représentation sémantique

de la quantité. Inversement, le système de production traduit une représentation sémantique en une forme de sortie appropriée (séquence de chiffres, séquence de mots). Dans chacun de ces systèmes, on distingue des composants lexicaux et syntaxiques propres à chaque modalité de présentation ou de production des stimuli. Enfin, le système de calcul travaille sur la base de représentations sémantiques, calcule leur produit, leur somme, etc., et fournit son résultat au système de production. A l'intérieur du composant de calcul, on distingue un module qui stocke les faits arithmétiques, un autre qui gère les procédures de calcul (report, etc.) et un troisième qui traite les opérateurs arithmétiques.

En regard de cette architecture, trois types de problèmes sont dégagés :

- 1 - une *dyscalculie du traitement numérique* : il s'agit de difficultés du traitement des symboles numériques ou des mots (par exemple, des difficultés de lecture de nombres, d'écriture, de répétition) ;
- 2 - une *dyscalculie des faits numériques*, c'est-à-dire une difficulté à maîtriser les faits arithmétiques (tables de multiplication, additions simples, soustractions simples) ;
- 3 - une *dyscalculie procédurale* qui consiste en une difficulté à planifier et conduire la séquence ordonnée des opérations nécessaires à la réalisation des calculs complexes (calculs écrits notamment).

Pour illustrer sa typologie, Temple présente différentes études de cas d'enfants dyscalculiques relevant de chacun de ces trois profils. Le cas de Paul, un garçon de 11 ans, correspond à la dyscalculie du traitement numérique (Temple, 1989). Bien que son niveau de lecture des mots soit normal, Paul présente de sévères difficultés à lire les nombres (40 % d'erreurs dans la lecture de nombres arabes, 59 % d'erreurs dans la lecture des numéraux verbaux) et à les écrire sous dictée (50 % d'erreurs pour les nombres arabes, voir Table 2 pour quelques exemples d'erreurs). Il s'agit donc clairement pour Temple d'une

Lecture de numéraux arabes	1 ⇔ neuf 85 ⇔ quatre-vingt-deux 34 ⇔ septante-six 711 ⇔ sept cent dix-huit 153 ⇔ cent vingt-trois 592 ⇔ deux cent nonante-deux
Lecture de numéraux verbaux	cinq ⇔ six trois ⇔ huit septante-huit ⇔ septante-deux dix-sept ⇔ dix-huit trois cent septante-deux ⇔ trois cent quatre-vingt-huit neuf cent vingt et un ⇔ deux cent vingt-deux
Ecriture sous dictée de numéraux arabes	deux ⇔ 3 neuf ⇔ 8 vingt-et-un ⇔ 28 nonante-neuf ⇔ 91 sept cent onze ⇔ 511 neuf cent vingt-et-un ⇔ 822

Table 2 : Exemples d'erreurs de transcodage de Paul (d'après Temple, 1989).

difficulté dans le traitement des nombres, soit, une dyscalculie relevant du premier type. Toutefois, nous noterons qu'il ne s'agit pas d'un cas "pur" de dyscalculie du traitement numérique. En effet, ces problèmes numériques ne sont pas circonscrits à la lecture et à l'écriture des nombres. Paul ne maîtrise en effet aucun concept ou opération mathématique, et il ne peut réaliser que des additions simples dont le résultat est inférieur à 10 à l'aide des doigts.

Une dyscalculie du même type mais plus spécifique est présentée par Sullivan, Macaruso et Sokol (1996) suivant la même perspective théorique, à savoir, appliquer à l'enfant le modèle développé par McCloskey et al. (1985). Dans le cas en question, il s'agit d'un garçon de 13 ans, CM, qui a des difficultés en mathématique mais présente également une dyslexie. Un examen du traitement des nombres indique qu'il peut réaliser des calculs simples ou complexes et qu'il peut comparer la grandeur numérique de deux nombres sauf si ceux-ci sont présentés en numéraux verbaux écrits (en raison de son problème de dyslexie plus général). Dans les tâches de transcodage, il présente, comme on s'y attendait, une certaine difficulté de lecture à voix haute des numéraux verbaux écrits (11 % d'erreurs). Cependant, tous les autres transcodages sont moins bien réalisés et c'est dans les cas où il doit produire des nombres arabes (sous dictée ou à partir de numéraux verbaux écrits) que ses performances sont les plus mauvaises (46 et 55 % d'erreurs). Une analyse plus détaillée indiquera qu'il produit essentiellement des erreurs de type syntaxique (écrivant trop ou pas assez de zéros).

Le second type de dyscalculie, la dyscalculie des faits numériques, est illustré par le cas HM (Temple, 1991). Il s'agit d'une adolescente de 19 ans, d'intelligence normale, mais qui présente une dyslexie phonologique. Dans le domaine numérique, elle peut facilement lire les nombres ou comparer leur grandeur numérique. Dans des tâches de calcul écrit, par contre, elle montre une dissociation entre sa bonne capacité à réaliser des additions et des soustractions et ses difficultés en multiplication (lenteur et taux d'erreur important). Pourtant, l'algorithme qu'elle utilise pour réaliser les multiplications écrites est correct. Les résultats qu'elle obtient dans une tâche de multiplications simples éclairent ces données : son taux d'erreurs atteint 38 %. La plupart du temps, ses erreurs correspondent à la production d'un nombre qui appartient à la table de l'un ou des deux opérands (par exemple, $3 \times 4 = 6$, $3 \times 6 = 21$, $7 \times 8 = 64$, $8 \times 9 = 90$), ou d'un nombre qui n'appartient pas aux tables de multiplication mais dont la taille est proche de celle de la réponse attendue (par exemple, $4 \times 3 = 11$, $4 \times 9 = 46$, $6 \times 3 = 19$).

Enfin, le cas SW (Temple, 1991) relève du troisième type de dyscalculie, le type procédural. SW est un garçon de 17 ans d'intelligence normale mais qui présente un retard de lecture. En mathématique, ses difficultés sont apparues dès le tout début de sa scolarité. Il peut lire les nombres et sélectionner le plus grand de deux nombres. Il peut définir les opérations arithmétiques de base et donner la réponse à des calculs simples (multiplications, additions, soustractions). Lorsqu'il s'agit de calculs écrits, une dissociation apparaît entre d'une part les additions qui sont correctement réalisées et, d'autre part, les soustractions (53 % d'erreurs), divisions (56 % d'erreurs) et multiplications (54 % d'erreurs). Une analyse de ces erreurs montre qu'elles ne proviennent pas d'une difficulté à récupérer les faits arithmétiques individuels mais plutôt d'une incapacité à maîtriser les algorithmes du calcul écrit.

Sur base de ces trois descriptions de cas, Temple (1997) conclut que les profils de difficultés rencontrées chez les enfants dyscalculiques sont compatibles avec l'architecture du traitement des nombres proposée par McCloskey et col. (1985). "Ces cas développementaux illustrent le fait que les éventuelles dissociations fonctionnelles des modules dans le développement sont comparables aux dissociations fonctionnelles que l'on observe dans les cas de patients adultes qui, suite à une atteinte cérébrale, présentent une dyscalculie acquise" (p. 286).

Une perspective tout à fait identique est adoptée par Sokol, Macaruso et Gollan (1994). Ceux-ci étudient un groupe de 20 enfants dyslexiques qui présentent aussi des difficultés d'apprentissage en mathématique. Par cette analyse multiple de cas uniques, ils montrent qu'on peut retrouver, chez l'enfant en développement, les mêmes dissociations que celles rencontrées chez l'adulte et prédites par le modèle de McCloskey et col., en particulier, une dissociation entre compréhension et production des nombres, traitement des numéraux arabes ou verbaux, traitement lexical et syntaxique des nombres, ou encore, simple récupération des faits arithmétiques versus mise en oeuvre de procédures de calcul.

Au regard de ces analyses de cas, une architecture telle que celle proposée par McCloskey et al. (1985) semble indéniablement informative pour la neuropsychologie du développement. Ce modèle permet en effet d'identifier le lieu des difficultés rencontrées par l'enfant à un moment donné. Au départ cependant, ce modèle visait à rendre compte des performances d'un système adulte mature. Il ne contient donc aucune perspective développementale. Or, peut-on supposer que le cerveau de l'enfant et celui de l'adulte sont identiques et que la structure fonctionnelle modulaire est là depuis le départ? Rien de nous y autorise à présent. A un niveau très élémentaire, une telle perspective ne permettrait pas de faire la distinction entre un développement normal mais excessivement lent et un développement qui suit un cours anormal. Il nous semble donc incontournable de prendre en considération les théories du développement des compétences numériques.

Apports d'une approche développementale ?

Pour Temple (1992b), les théories du développement sont de peu d'utilité. Ces modèles décrivent généralement une série d'étapes par lesquelles l'enfant passe, selon une séquence relativement stricte. Le trouble développemental y est interprété comme une lenteur anormale ou une incapacité totale à atteindre un stade ultérieur. Quelle que soit la situation, seules des dissociations simples sont attendues, soit, celles qui suivent le cours habituel du développement (c'est-à-dire, maîtrise du stade i mais incapacité d'atteindre le stade $i + 1$) alors que la dissociation inverse est impossible à imaginer (c'est-à-dire, maîtrise du stade $i + 1$ mais incapacité d'atteindre le stade i). Temple illustre cette conception à partir du modèle de l'acquisition des nombres et des mathématiques proposé par Ginsburg (1977). Trois stades sont distingués. Les deux premiers concernent des connaissances "informelles" c'est-à-dire qui ne font pas l'objet d'un apprentissage scolaire systématique mais qui sont plutôt apprises de manière "naturelle" dans les interactions avec l'environnement. Le *système 1* concerne les capacités préscolaires des

enfants à résoudre des problèmes quantitatifs avant toute capacité de manipuler les nombres. Par exemple, un enfant peut décider laquelle de deux collections est la plus importante numériquement, sans même qu'une opération de comptage ne soit mise en route. Le *système 2* vise également des connaissances qui sont transmises de manière informelle, mais cette fois via la culture. En particulier, il s'agit des habiletés de comptage qui, par la suite, serviront de base à la réalisation des premières opérations d'arithmétique mentale (par exemple, les petites additions). Enfin, le *système 3* regroupe les apprentissages formels scolaires tel que l'apprentissage des symboles écrits, ou encore des algorithmes et principes de mathématique.

Une première critique que nous partageons avec Temple (1992b) concerne le déséquilibre évident entre les trois systèmes. En effet, le système 3 regroupe à lui seul une quantité impressionnante d'acquisitions et, dans cette perspective, pratiquement tous les cas décrits se retrouveraient dans ce même type de dyscalculie. D'une certaine manière, Ginsburg lui-même partage cette critique. Ainsi, Ginsburg et Russell (1981) constatent que les problèmes en mathématique ne sont généralement pas dus à des difficultés au niveau des deux premiers systèmes puisque ceux-ci font référence à des connaissances largement répandues, robustes, qui sont présentes chez la majorité des enfants et qui auraient sans doute une base biologique. Il est vrai que les connaissances du système 1 évoquent les capacités que l'on pourrait obtenir par la simple mise en oeuvre de "l'accumulateur", ce premier système de quantification que nous semblons partager avec certains animaux (voir Gallistel & Gelman, 1992 ou le chapitre de Vauclair dans cet ouvrage).

Suivant cette perspective de développement en étapes, on s'attendrait donc à des dissociations entre le système 1 et le système 2 et 3, ou entre le système 2 et le 3 dans une direction unique. Pourtant, les cas HM et SW (Temple, 1991) constituent une double dissociation : maîtrise des procédures mais pas des tables arithmétiques et inversement. Selon Temple, une difficulté dans l'acquisition des procédures de calcul (HM) correspond, dans le modèle de Ginsburg, à une maîtrise du système 2 mais une difficulté d'accéder au système 3, soit, une dissociation prévisible dans le modèle en étapes de Ginsburg. A l'inverse, la difficulté d'accès aux faits arithmétiques avec maîtrise des algorithmes de calculs (SW) correspond à une acquisition correcte du système 3 alors que le système 2 n'est pas maîtrisé, soit, une dissociation impossible dans le cadre des modèles en étapes. Cette critique est évidemment cruciale, mais dans le cas présent, elle nous semble dériver d'une vision trop simpliste de la perspective de Ginsburg. En effet, le système 2 recouvre la maîtrise du comptage et sans doute aussi celle des premiers faits arithmétiques (surtout les petites additions), mais y inclure la maîtrise de toutes les tables (y compris les problèmes de multiplications tel que 6×7 , etc.) nous semble incorrect. Il est évident que la constitution d'un réseau de faits arithmétiques en mémoire à long terme requière un apprentissage formel, scolaire, long, soit des caractéristiques du système 3 plutôt que du système 2. Si tel est le cas, HM et SW présenteraient plutôt une double dissociation à l'intérieur du système 3. Ceci ne remet plus en question l'hypothèse de stades obligés, mais rappelle toutefois la première critique que nous avons émise : une fois de plus, toutes les difficultés apparaissent au niveau de la maîtrise du système 3.

Par rapport à ces modèles en stades, nous voudrions adresser deux critiques. D'abord, une perspective de passage abrupt d'une étape à la suivante n'a que peu de sens. Ainsi, dans l'acquisition des faits arithmétiques, Siegler et Jenkins (1989) soulignent que la maturation des stratégies de résolution de calcul ne suit pas une logique stricte en étapes : il n'y a pas substitution d'une stratégie par une autre, mais plutôt mélange de stratégies existantes, la construction de nouvelles et l'abandon d'anciennes (voir aussi Lemaire & Siegler, 1995). Une même conclusion a été proposée par Siegler (1995) dans le cas des tâches de conservation numérique "à la Piaget". Un modèle en vagues superposées (tel qu'illustré dans la Figure 2, suivant Siegler, 1995) semble en effet plus proche de la réalité.

Modèles du développement en stades

Modèles du développement par vagues superposées

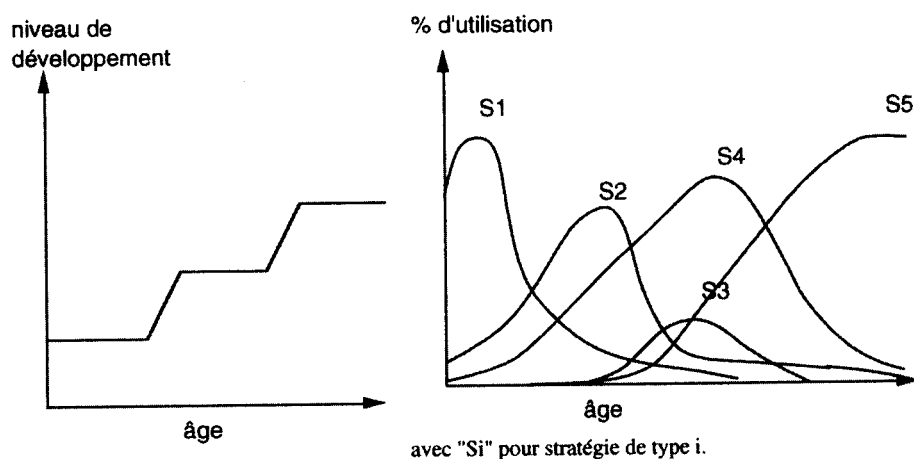


Figure 2 : Visions contrastées des modèles développementaux en stades et en vagues superposées (d'après Siegler, 1995).

Deuxièmement, contrairement à la lecture, par exemple, le calcul est loin d'être un processus unitaire. Sous ce terme, on place aussi bien la manipulation des quantités, que la maîtrise de la chaîne verbale, le dénombrement, l'acquisition des faits arithmétiques, les procédures de calcul, la lecture et l'écriture des nombres, l'extraction de la parité ou encore la résolution de problèmes. Dans cette situation, il nous semble périlleux de considérer une perspective de développement très large selon laquelle l'enfant passe d'un stade à l'autre suivant un schéma établi pour les compétences numériques globales. Il est en effet évident que des dissociations peuvent se produire (voir ci-dessus les cas présentés par Temple et Sokol et al., 1994). La prise en considération du développement de *chacune* de ces compétences nous paraît primordiale même si la question du rapport entre le développement de ces différentes compétences reste bien sûr à poser.

Une démarche de ce type a été adoptée par plusieurs auteurs pour comprendre les différences entre enfants dyscalculiques ou non, dans le processus particulier d'acquisition d'un réseau de faits arithmétiques, soit dans la mise en mémoire des réponses à des calculs simples ($4 \times 5 = 20$, $4 + 3 = 7$). Chez les enfants normaux, ce processus d'acquisition passe, pour l'addition par exemple, par l'utilisation de différentes stratégies de comptage pour arriver à la somme demandée. En particulier, trois types de stratégies ont été différenciées; celles-ci sont présentées suivant un ordre de maturité et d'efficacité, croissant: (1) le *comptage du tout*, c'est-à-dire, compter à partir de un, les deux termes (par exemple, $4 + 5 = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$), (2) *compter à partir du premier terme*, un nombre de pas égal au second terme (par exemple, $4 + 5 = 4... 5, 6, 7, 8, 9$) et, enfin, (3) *compter à partir du plus grand terme*, un nombre de pas égal au plus petit terme (par exemple, $4 + 5 = 5... 6, 7, 8, 9$).

Ainsi, en 1975, Svenson et Broquist comparent la vitesse de réalisation d'additions simples chez des enfants en difficultés mathématiques (DM) et des enfants normaux, pairés au niveau de leur performances en mathématiques (les enfants normaux sont donc âgés de 9;3 à 10;1 ans alors que les DM sont âgés de 10;6 à 13;7 ans). Le modèle de Groen et Parkman (1972) est utilisé pour modéliser les temps de réponses, sur base de deux paramètres: le temps mis pour initialiser un compteur interne et le temps mis pour incrémenter ce compteur interne. Ainsi, dans une tâche de *comptage à partir du plus grand*, il est d'abord nécessaire d'identifier le terme le plus grand, d'initialiser le compteur à cette valeur et, ensuite, de l'incrémenter d'un nombre de pas égal au plus petit des deux termes. Suivant ce procédé, Svenson et Broquist obtiennent des équations significativement différentes pour les deux groupes et ce, au niveau des deux paramètres (ordonnée à l'origine et pente). Ceci signifie donc que les enfants DM auraient une difficulté double: à la fois une lenteur à choisir le point de départ de leur comptage et un comptage interne très lent³.

Outre les temps de réponse, plusieurs recherches se sont intéressées aux stratégies de calcul. On a en effet pu mettre en évidence que les enfants DM utilisent des stratégies de résolution des calculs qui sont à la fois moins efficaces et plus lentes que leurs pairs (Fleischner, Garnett & Shepard, 1982; Geary, Widaman, Little & Cormier, 1987). Ainsi par exemple, ils continuent à utiliser la stratégie de *comptage du tout*, là où les autres enfants comptent à partir du premier ou du plus grand des termes. Goldman, Pelligrino et Mertz (1988) se sont aussi posé la question de savoir si ces difficultés correspondaient à un retard dans le développement ou bien à un processus de développement déviant. Dans cette optique, ils ont étudié un groupe d'enfants DM (entre 7 et 13 ans inscrits dans des services de remédiation pour le calcul) avant et après avoir bénéficié d'un programme de pratique intensive d'additions simples. Globalement, les performances du groupe indiquaient un bénéfice de cet entraînement. Toutefois, à y regarder de plus près, quatre sous-groupes pouvaient être distingués selon le type de stratégies utilisées et leur efficacité. Le

3. Notons cependant que le modèle de Groen et Parkman convient surtout pour modéliser les stratégies d'additions basées sur le comptage. Or, vers 9-10 ans (l'âge des sujets normaux), la plupart des enfants ont déjà basculé vers une stratégie de récupération en mémoire de la solution (voir Lemaire, Barret, Fayol & Abdi, 1993).

groupe A comportait des enfants qui, au départ, étaient les plus rapides de l'échantillon et qui pouvaient récupérer directement en mémoire la plupart des sommes inférieures à 10. Pour les autres problèmes, la stratégie de *comptage à partir du plus grand terme* était la plus utilisée. Après l'entraînement, ces enfants montraient une plus grande rapidité à récupérer des réponses qui étaient déjà mémorisées et, plus globalement, une augmentation de la proportion des réponses directement récupérées en mémoire. Dans le groupe B, il s'agissait d'enfants qui, au départ, récupéraient moins souvent les réponses en mémoire mais utilisaient plutôt des stratégies de *comptage à partir du premier ou du plus grand terme*. Après l'apprentissage, ils présentaient une légère augmentation du nombre de réponses récupérées mais surtout utilisaient davantage les stratégies de *comptage à partir du plus grand terme* au détriment d'une stratégie de comptage plus immature à partir du premier terme. Le groupe C utilisait surtout le *comptage à partir du plus grand terme* mais cette stratégie était lente et laborieuse. Après l'entraînement, ces enfants utilisaient une variété plus grande de stratégies. Enfin, les enfants du groupe D étaient extrêmement lents au départ et ne montrent aucun bénéfice de l'entraînement. En résumé, les trois premiers groupes montrent une amélioration de leurs performances après l'entraînement, à la fois en terme de vitesse de réponse et de maturité des stratégies utilisées. Pour Goldman et al., cette amélioration indiquerait donc qu'il s'agirait d'un retard de développement. En revanche, les enfants du groupe D ne montrent aucun bénéfice de l'entraînement, ce qui est interprété comme un développement à la fois retardé et anormal. Une rééducation expérimentale d'un jeune dyscalculique de 16 ans aboutit aux mêmes conclusions, l'entraînement extensif qu'il avait reçu n'ayant eu aucun impact sur ses stratégies de calcul (Howell, Sidorenko & Jurika, 1987).

Dans plusieurs travaux, Geary et son équipe ont analysé les types de stratégies adoptées par des enfants, présentant ou non des difficultés dans l'apprentissage des mathématiques, pour réaliser des additions simples. Cependant, plutôt que d'inférer le type de stratégies utilisées par l'enfant sur base de son profil de temps de réponses, les auteurs ont tout simplement demandé à l'enfant, après chaque calcul, d'expliquer comment il était parvenu au résultat. Cette méthodologie a permis de travailler non plus globalement en classant un individu selon sa (ses) stratégie(s) dominante(s), mais bien item par item et donc de dégager des profils individuels beaucoup plus détaillés.

Dans une première recherche, Geary (1990) compare trois groupes : (1) un groupe d'enfants sans difficulté en mathématique, (2) un groupe d'enfants DM qui, après un an de remédiation ont de meilleurs résultats en mathématique, et (3) un groupe d'enfants DM qui n'ont pas amélioré leur performance en dépit des services de remédiation qu'ils avaient reçus. Confrontés à une tâche d'additions simples, les groupes 1 et 2 ne se distinguent pas nettement. Par contre, le groupe 3 produit plus d'erreurs à la fois de comptage et de récupération, et les stratégies de résolution utilisées sont moins matures. Par ailleurs, le choix de la stratégie employée n'est pas optimum (il y a une faible corrélation entre l'utilisation de la récupération et le taux de récupération correcte). Enfin, le profil des temps de réponses est assez atypique (par exemple, le temps de récupération d'une réponse n'est pas correctement prédit par le produit des deux termes, ce qui est classiquement le cas). Sur la base de ces résultats, Geary

conclut que le groupe 2 présenterait un simple retard alors que le groupe 3 souffrirait d'un développement anormal.

Dix mois plus tard, ces enfants font l'objet d'un suivi (Geary, Brown & Samaranayake, 1991). Les mêmes additions sont présentées. Il n'y a alors plus aucune différence perceptible entre les groupes 1 et 2 : tous deux montrent un recours plus important à la simple récupération au détriment des stratégies de comptage (on passe de 39 % de récupération au temps 1 à 51 % au temps 2) et une rapidité accrue à récupérer une réponse ou à la calculer. En revanche, le groupe 3 reste toujours en difficulté : la stratégie de récupération n'est pas plus utilisée qu'auparavant (26 % au temps 1 contre 25 % au temps 2) et les réponses sont toujours aussi lentes. Des résultats similaires sont obtenus dans une autre étude de Geary et Brown (1991, voir Table 3 pour la fréquence d'utilisation des différentes stratégies dans les groupes d'enfants normaux, doués ou en difficulté).

Stratégies	Enfants		
	doués	normaux	dyscalculiques
comptage digital	2	10	15
comptage verbal	10	29	41
récupération	88	61	44

Table 3 : Pourcentage moyen d'utilisation des différentes stratégies (d'après Geary & Brown, 1991).

Cette absence de progression dans les performances et les stratégies de réalisation des additions simples a aussi été observée par Ostad (1998). Cet auteur s'est intéressé aux difficultés des enfants DM dans la résolution de calculs simples présentés dans le format habituel ($A + B = ?$) mais aussi lorsque ces opérations sont intégrées à un problème verbal (*Pierre a A voitures, Jean lui en donne B, combien en a-t-il maintenant ?*). Trois groupes d'enfants avec ou sans difficulté d'apprentissage en mathématiques sont comparés : des enfants en deuxième, quatrième et sixième années (âge moyen de 8;6 ans, 10;5 ans et 12;7 ans). Chez les enfants normaux, on observe des changements importants au cours de la scolarité : les performances s'améliorent, l'écart entre calculs classiques et problèmes diminue, et on note un changement de stratégie de résolution qui va dans le sens d'une diminution progressive du recours à un matériel concret au profit d'une utilisation accrue de stratégies verbales puis, purement mentales. En revanche, les enfants DM diffèrent des enfants normaux en tous points. Dès le départ, leurs performances sont moins bonnes et celles-ci ne semblent pas bouger au cours des années scolaires (on passe de 13 % à 15 % de réussite pour les problèmes en mots, et de 38 % à 41 % pour les calculs classiques, contre, respectivement une amélioration de 58 % à 92 % et de 73 % à 96 % pour les enfants normaux). Par conséquent, l'écart observé entre la performance dans les calculs classiques et les problèmes en mots reste lui-

aussi identique dans les trois groupes scolaires. Enfin, le type de stratégie de résolution des problèmes reste inchangé il s'agit du recours à un matériel concret (plus de 90 %) et l'utilisation de stratégies de comptage verbal. On se retrouve donc face à une population qui utilise un ensemble limité et rigide de stratégies et qui ne semble nullement bénéficier de l'apprentissage scolaire qui lui est offert.

En conclusion, l'analyse d'un processus numérique particulier, dans le cas présent l'acquisition des faits arithmétiques, permet d'aller plus loin qu'un diagnostic du type "dyscalculie des faits arithmétiques" (selon la classification de Temple, 1992b). Il est en effet possible de déterminer si l'enfant suit un développement un peu trop lent, ou si les stratégies qu'il déploie sont inadéquates, inefficaces et peu diversifiées. Cette approche met également en évidence des différences entre "dyscalculie des faits arithmétiques" développementale versus acquise. En effet, dans le premier cas, on voit que les enfants qui n'ont pas stocké la réponse en mémoire à long terme présentent également un retard ou une immaturité dans les stratégies de résolution qu'ils utilisent, ce qui semble indiquer une certaine immaturité de leurs connaissances conceptuelles de l'arithmétique. A l'inverse, dans le domaine des adultes cérébrolésés, certaines études de cas ont mis en évidence l'utilisation de stratégies de réalisation de calculs (divisions et multiplications) tout à fait surprenantes dans le chef de patients qui ne pouvaient plus avoir recours à leur mémoire pour trouver la solution à des problèmes simples (Hittmair-Delazer, Semenza & Denes, 1994; Hittmair-Delazer, Sailer & Benke, 1995, voir un exposé détaillé de ce type de cas au chapitre de Delazer dans cet ouvrage). Ce développement de stratégies palliatives montre bien que le problème sous-jacent touche, chez ces patients, la mémoire et non pas la connaissance conceptuelle des opérations arithmétiques.

FACTEURS CAUSAUX

Tout comme les recherches sur la dyslexie ont d'abord visé la description des mécanismes de lecture puis tenté d'identifier les bases cognitives qui étaient nécessaires à la mise en place de cet apprentissage, une démarche similaire a été adoptée dans le domaine de la dyscalculie.

Considérant qu'un des facteurs contribuant aux difficultés de lecture est une mémoire de travail pauvre, Siegel et Ryan (1989) ont fait l'hypothèse que le même type de faiblesse pouvait être à l'origine des difficultés en mathématiques. Les auteurs ont ainsi mesuré les capacités de mémoire de travail d'enfants sans difficulté et de trois autres groupes présentant des difficultés soit en lecture, soit en mathématique, soit des troubles de l'attention. Deux tâches de mémoire sont proposées : (1) l'empan de phrases (une série de phrases sont lues à l'enfant qui les complète en donnant le dernier mot manquant, ensuite, l'enfant doit répéter dans l'ordre ces mots finaux) et (2) un empan de comptage (des patterns de points bleus et jaunes sont présentés à l'enfant ; celui-ci compte les points jaunes et puis, doit rappeler dans l'ordre le cardinal de chaque carte). Aucune différence n'est obtenue entre les enfants sans difficulté et ceux qui présentent des problèmes attentionnels. En revanche, les enfants avec retard de lecture sont faibles dans les deux tâches de mémoire mais les enfants DM ne sont en difficulté que

sur l'empan de comptage. Pour Siegel et Ryan, il y aurait une correspondance entre troubles d'apprentissage et déficit au niveau d'une mémoire de travail spécifique. Les enfants dyslexiques seraient mauvais dans les deux tâches parce que toutes les deux exigeraient la rétention d'un matériel verbal alors que les enfants DM seraient médiocres dans la seule tâche nécessitant la rétention d'un matériel numérique, à savoir, l'empan de comptage.

Cette conclusion a fait l'objet d'une critique par Hitch et McAuley (1991). Dans deux expériences, ces auteurs tentent de comprendre l'origine des difficultés rencontrées par les enfants DM dans la tâche d'empan de comptage. La première recherche vise à mettre à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle les résultats faibles à l'empan de comptage seraient liés au caractère visuo-spatial de la tâche. Des enfants DM et normaux sont soumis à quatre tâches d'empan faisant varier systématiquement la modalité de présentation des stimuli (visuelle vs. auditive) et l'opération requise (comptage versus jugement d'identité) :

- 1 - *Empan de comptage visuel* : il s'agit de la même tâche de rappel de cardinal de points que celle utilisée par Siegel et Ryan,
- 2 - *Empan de comptage oral* : l'enfant entend un certain nombre de coups, il doit ensuite redire dans l'ordre le nombre de coups présentés dans chaque séquence,
- 3 - *Empan d'identité visuelle* : trois cartes sont présentées à l'enfant : deux d'entre elles sont identiques. A chaque essai, l'enfant doit pointer la carte différente parmi les trois puis doit ensuite rappeler les positions occupées par la carte unique dans les différents essais,
- 4 - *Empan d'identité auditive* : Une série de trois mots est présentée à l'enfant. Dans chaque série, deux mots sont identiques. L'enfant doit rappeler dans l'ordre les mots uniques de chaque série.

Les enfants dyscalculiques éprouvent des difficultés dans les deux tâches d'empan de comptage (1 et 2). Leur problème est donc indépendant de la modalité de présentation du matériel. Les auteurs se demandent alors si ces difficultés ne seraient pas liées à des problèmes de comptage plutôt qu'à un problème de mémoire à court terme spécifique aux nombres. Une série de nouvelles tâches est alors mise au point de manière à isoler la part de mémoire et la part de comptage :

- 1 - un simple empan de chiffres,
- 2 - 3 tâches évaluant la vitesse de comptage (réciter les nombres de 1 à 20, réciter les nombres pairs de 2 à 20, compter des collections de points), et
- 3 - une mesure de la vitesse articulatoire (répétition de mots polysyllabiques).

Seule la tâche de vitesse articulatoire donne lieu à des performances normales pour les enfants dyscalculiques (voir Table 4). Ces enfants ne seraient donc pas uniquement en difficulté dans des tâches d'empan de comptage, ils présenteraient également des performances faibles dans le comptage lui-même et auraient un empan de chiffres plus bas que la moyenne. Pour Hitch et McAuley (1991), il n'y aurait pas de mémoire de travail spécifique pour les nombres d'une part et pour le langage d'autre part. Les scores médiocres obtenus par les enfants DM à la tâche d'empan de comptage seraient expliqués par une difficulté double située au niveau de la mémoire de travail verbale et du comptage lui-même.

Tâches	Groupe contrôle	Groupe DM	Seuils
Empan de chiffres	5.65	5.08	$p < .05$
Dénombrement de points	2.81	3.35	$p < .01$
Comptage de 1-20	5.45	6.48	$p < .05$
Comptage de 2-20	4.84	10.21	$p < .05$
Vitesse articulatoire	5.89	6.38	NS

Table 4 : Résultats de l'expérience 2 de Hitch et McAuley (1991).

Dans leur suivi des enfants DM, Geary et al. (1991) avaient également mesuré les capacités de mémoire à court terme de leurs sujets et avaient eux aussi observé un empan de chiffres faible qu'il s'agisse d'un rappel dans l'ordre habituel (moyenne de 4.2 pour les enfants DM et 5.3 pour les normaux) ou inversé (moyenne de 3.0 pour les enfants DM et 4.1 pour les normaux). Par ailleurs, ces mesures d'empan étaient corrélées avec la fréquence d'erreurs de comptage ($r = 0.35$). Selon Geary et al., une mémoire de travail relativement faible constituerait un des facteurs causaux des difficultés éprouvées par les enfants DM pour se constituer un réseau de faits arithmétiques en mémoire à long terme. En effet, l'association entre un problème et la réponse ne peut s'établir en mémoire à long terme que si ces deux informations sont activées simultanément en mémoire à court terme. Si par contre, la représentation du problème s'efface rapidement en mémoire de travail, alors la réponse générée suite à une stratégie de comptage ne peut y être associée. Cette situation serait particulièrement fréquente dans le cas des grands problèmes. Dans ce cas en effet, la stratégie de comptage est relativement lente et le risque d'une disparition de la trace du problème lorsque la solution est activée, est élevé.

Dans une étude corrélative, Bull et Johnson (1997) vont remettre en question cette importance du facteur mémoire à court terme. Ces auteurs mesurent les performances en mathématique d'un groupe d'enfants (via un test global de mathématique et une tâche d'additions simples dans laquelle les temps de réponse et les stratégies de résolution sont enregistrées) ainsi qu'une série de facteurs cognitifs, en particulier, (1) l'empan de mémoire à court terme, (2) la vitesse de traitement, (3) la vitesse motrice et perceptive, (4) la vitesse d'identification d'items (de lettres et de chiffres) et (5) la capacité de sériation (de nombres, de lettres, de mots). Comme dans les études précédentes, ces auteurs montrent que, comparés aux enfants normaux, les enfants DM (soit ceux qui ont des scores bas dans le test global de mathématique), utilisent moins souvent la récupération en mémoire à long terme, produisent globalement plus d'erreurs et sont plus lents dans leur utilisation de la stratégie de comptage. De plus, ces différences ne disparaissent pas lorsque le score obtenu à un test de lecture est introduit comme covariable.

Ensuite, les auteurs tentent de comparer le pouvoir prédictif des différentes variables cognitives envisagées sur le niveau des performances en mathématiques. Dans ce but, des corrélations partielles (c'est-à-dire après contrôle du

niveau de compétence en lecture) sont calculées en considérant tour à tour plusieurs variables dépendantes : le score global au test de mathématique et, dans la tâche d'additions simples, la fréquence de récupération en mémoire, le temps de réalisation d'une addition par une procédure de comptage, le temps de récupération d'une somme et le nombre d'erreurs de comptage (ces corrélations sont présentées dans le tableau 5). De cette analyse, il ressort que le pouvoir de prédiction de l'empan de mémoire à court terme ne surpasse celui des autres facteurs cognitifs envisagés que dans le cas du nombre d'erreurs de comptage. Pour le reste, la vitesse articuloire prédit bien la fréquence de récupération en mémoire, la vitesse de traitement est liée au score global au test de mathématique et au temps de récupération en mémoire de la somme et enfin, la vitesse d'identification des items est le meilleur prédicteur du temps de réalisation des additions par comptage.

Pour les auteurs, ces résultats remettent en question le lien établi antérieurement entre mémoire à court terme (MCT) et DM. Imaginons que la MCT n'intervienne aucunement dans le développement des compétences mathématiques mais bien dans celui de la lecture, alors, comparer la MCT d'enfants avec ou sans difficultés en mathématique, risque très probablement de mettre en évidence des différences en défaveur des enfants DM, simplement parce que ces enfants ont aussi souvent des difficultés concomitantes de lecture (voir à ce propos les études épidémiologiques). Ce type de biais a pu jouer dans les études de Geary et al. (1991) et de Hitch et McAuley (1991) qui comparent des enfants avec ou sans difficultés mathématiques sans tenir compte d'éventuelles difficultés concomitantes en lecture. Cette critique nous paraît tout à fait justifiée, mais elle semble cependant négliger le cas d'une situation particulière. En effet, imaginons que la part de MCT qui explique les difficultés en mathématiques soit largement commune à celle qui rend compte des problèmes de lecture, alors, contrôler la difficulté de lecture équivaut, d'une certaine manière, à contrôler aussi les difficultés de mémoire à court terme. Il n'est donc pas étonnant que la corrélation partielle entre MCT et difficulté en mathématiques soit plus faible. D'autre part, nous aimerions souligner qu'une corrélation entre vitesse articuloire et fréquence de récupération indique également, une importance de la MCT, au moins dans sa composante boucle phonologique. En résumé, nous pensons que cette étude ne peut constituer à elle seule une remise en question radicale du lien entre MCT et DM, mais qu'elle souligne plutôt l'importance d'autres facteurs cognitifs, comme la vitesse de traitement.

	empan MCT	vitesse articul.	vitesse traitem.	identif items	sérialisation
score global au test de mathématique	.25		-.39	-.32	
fréquence de récupération en mémoire		.34	-.25	-.32	.33
temps de récupération d'une somme			.49		
temps d'additions par comptage				.29	
nombre d'erreurs de comptage	-.30		.25		

Table 5 : Corrélation entre prédicteurs cognitifs et performance dans les tâches de mathématique (d'après Bull & Johnson, 1997)

Une autre source possible de difficultés dans la constitution d'un réseau de faits arithmétiques serait, selon Geary, Bow-Thomas et Yao (1992), un retard dans la maîtrise des principes sous-jacents au dénombrement. Ce retard pourrait en effet expliquer l'immaturité observée dans les stratégies de résolution de calculs des enfants DM. Pour mettre à l'épreuve cette hypothèse, les auteurs demandent aux enfants de contrôler le comptage d'une marionnette qui se trompe de temps en temps. Ses erreurs reflètent la violation d'un des principes sous-jacents au comptage proposés par Gelman et Gallistel (1978), en particulier, la correspondance terme-à-terme (un seul mot-étiquette est attribué à chaque objet compté), l'ordre stable (l'ordre des noms de nombres est identique quel que soit la collection comptée) et la cardinalité (le dernier mot-nombre émis correspond au cardinal de l'ensemble). Une seule différence apparaît entre le groupe des enfants avec ou sans difficulté mathématique. Dans les essais relatifs à la correspondance terme-à-terme, les enfants dyscalculiques ne parviennent pas à faire la différence entre des violations essentielles ou non (Briars & Siegler, 1984) : ils pensent que le comptage doit obligatoirement se faire suivant l'ordre de proximité des objets (on ne peut pointer tous les objets tour à tour selon un ordre aléatoire).

En résumé, Geary (1993) considère que trois facteurs cognitifs pourraient être à la base de la difficulté rencontrée par certains enfants à développer un réseau de faits arithmétiques : un développement immature des principes sous-jacents au comptage, une mémoire de travail faible et une vitesse de traitement (en particulier, vitesse de comptage) peu élevée. Plus spécifiquement, il propose de distinguer deux types de déficits sous-jacents à la dyscalculie des faits arithmétiques selon que le problème fonctionnel à la base serait de type procédural ou mnésique. Le *type procédural* caractériserait des enfants qui, au départ de leur apprentissage des mathématiques utilisent des algorithmes de résolution immatures et produisent de nombreuses erreurs. Ces problèmes seraient toutefois pratiquement résolus à la fin de la deuxième année primaire. Il s'agirait donc d'un simple retard de développement. A l'inverse, les déficits de *type mnésique* caractériseraient des enfants qui ne récupèrent que très peu de faits en mémoire et, lorsque c'est le cas, les réponses sont souvent erronées et les temps suivent un profil atypique et non systématique. Dans la plupart des cas, ces difficultés se maintiendraient au cours des études primaires et une pratique intensive du calcul n'y apporterait aucune aide. Ces enfants présenteraient généralement des déficits au niveau de la mémoire de travail, y compris un déclin trop rapide de la trace, ainsi qu'un comptage très lent. Il ne s'agirait donc pas ici d'un simple retard de développement mais bien d'un développement anormal.

A ce tableau, Barrouillet, Fayol et Lathulière (1997) proposent d'ajouter un déficit d'inhibition. En effet, ils montrent que dans une tâche de multiplications simples, des adolescents DM produisent essentiellement des erreurs qui correspondent à des nombres de la table de l'un des opérandes. De plus, dans un paradigme de vérification de multiplications simples, des réponses incorrectes qui appartiennent à la table d'un des opérandes posent davantage problème à ces adolescents DM que des nombres qui appartiennent aux tables de multiplication mais pas à celle d'un des opérandes, ou bien qui n'appartiennent pas aux tables de multiplication.

Le travail de Ta'ir, Brezner et Ariel (1997) s'inscrit dans une perspective très différente mais peut néanmoins nourrir cette question générale des origines de la dyscalculie. Contrairement aux études présentées ci-dessus, Ta'ir et al. réalisent une étude de cas unique et ne s'intéressent pas au problème particulier de l'acquisition des faits arithmétiques. L'enfant en question est un garçon de 11 ans, YK qui souffre d'un trouble neuromusculaire d'origine inconnue. Son quotient intellectuel et ses facultés langagières sont normales. Il présente quelques signes de trouble frontal ainsi que deux symptômes accompagnateurs de la dyscalculie dans le syndrome de Gerstmann, à savoir, une désorientation gauche-droite et une agnosie digitale. Ses capacités de transcodage sont bonnes sauf pour la production de nombres arabes supérieurs à 1000. Il peut aussi compter correctement. Cependant, ses résultats en calcul sont catastrophiques (seules les sommes inférieures à 10 peuvent être réalisées) et le dénombrement simple d'une collection d'objet entraîne des erreurs si le cardinal est supérieur à 15. Une série de tâches indiquera que le pointage des éléments d'une collection est toujours lent et désorganisé si ces éléments sont tous identiques et qu'une aide de différenciation visuelle (objets différents) ou un indice de sériation (compter les lettres de l'alphabet, des séries de nombres, les mots d'une phrases) sont nécessaires pour guider son pointage. Enfin, il échoue aussi dans des tâches piagésiennes de conservation de la quantité (liquide et nombres), de sériation ou d'inclusion de classes.

Pour les auteurs, cette dyscalculie massive résulterait d'un déficit au niveau d'un mécanisme de base permettant l'acquisition des principes de cardinalité et d'ordinalité, à savoir, un système proche de l'accumulateur proposé par Gallistel et Gelman (1992). Ta'ir et al. proposent donc une distinction entre des dyscalculies profondes du type de celle de YK, c'est-à-dire résultant d'un déficit au niveau de l'accumulateur, et des dyscalculies dites secondaires parce que liées à des déficits plus globaux du type langagier, traitement visuo-spatial etc. Notons cependant qu'une interprétation en terme de problème du calepin visuo-spatial de la mémoire de travail pourrait peut-être constituer une explication alternative.

Enfin, nous ne voudrions pas clore cette section sur les facteurs causaux de la dyscalculie sans aborder le rôle des facteurs génétiques. Ainsi, Geary (1993) dans son article de synthèse examine les études sur l'héritabilité, non pas de la dyscalculie, mais bien des habiletés numériques. Selon les études, le potentiel d'héritabilité (h^2) varie de 0,20 à 0,66; ce qui indique donc une contribution génétique significative. Nous voudrions également mentionner le cas de trois anomalies génétiques qui sont connues pour entraîner des difficultés dans l'apprentissage mathématique, à savoir, le syndrome X-fragile (au moins pour les filles qui présentent une intelligence normale dans les deux tiers des cas), le syndrome de Williams et le syndrome de Turner. Un cas de dyscalculie chez un enfant X-fragile présentant également d'autres signes propres au syndrome de Gerstmann a été étudié par Grigsby, Kemper et Hagerman (1987). Deux autres études ont porté sur des populations de filles atteintes du syndrome de Turner (Rovet, Szekely & Hockenberry, 1994; Temple & Marriott, 1998). Ces deux recherches indiquent des difficultés dans la constitution d'un réseau de faits arithmétiques et dans les procédures de calcul. Des difficultés dans la géométrie ont aussi été relevées (ce qui n'est pas étonnant vu les problèmes de gestion et de repérage spatial de ces enfants).

CONCLUSION

La dyscalculie développementale se définit comme une difficulté d'apprentissage des mathématiques et/ou des autres manipulations numériques dans le cadre d'une intelligence normale. Contrairement aux troubles acquis, il s'agit d'une difficulté dans la mise en place des compétences et non pas la disparition d'acquis antérieurement maîtrisés.

Si cette difficulté a été relativement peu étudiée jusqu'à présent, elle n'est toutefois pas rare. En effet, sa fréquence d'apparition est quasi identique à celle de la dyslexie.

D'aucuns ont proposé de distinguer différents types de dyscalculies suivant l'association qu'elles présentent avec d'autres dysfonctionnements cognitifs plus globaux. Dans ce cadre, la compétence numérique est considérée comme unitaire (on s'intéresse au score d'un test évaluant les compétences mathématiques), et secondaire à un déficit général du type langagier, visuo-spatial ou autre. D'autres typologies ont adopté une perspective plus interne en se concentrant sur la compétence numérique elle-même. L'objectif est alors d'identifier les types de difficultés numériques qui peuvent apparaître. La plupart du temps, il s'agit d'une vision statique et innée du développement qui découle d'une analogie poussée à l'extrême avec la neuropsychologie cognitive de l'adulte. Le fonctionnement modulaire de l'adulte est supposé exister au départ : chaque module ayant son propre développement à partir d'une base biologique innée (conception à la Fodor, 1983, adoptée par Temple 1997). D'autre part, ce type de démarche se focalise sur les représentations mais néglige les processus.

Une attention plus particulière à ces derniers voit tout doucement le jour. Dans ce type de recherches on tente de mettre en évidence les différences entre enfants dyscalculiques ou non en mesurant non seulement la performance dans une épreuve mais en s'interrogeant également sur la manière dont l'enfant est arrivé au résultat de son opération. Ce type de travail a permis, entre autre, de mettre à jour des différences qualitatives entre enfants dyscalculiques ou pas et d'introduire la distinction entre retard de développement et développement anormal. Dans le même courant d'idées, ces auteurs cherchent à identifier des mécanismes cognitifs de base qui pourraient être à l'origine de ces problèmes d'apprentissage. Dans les facteurs envisagés, des facteurs externes et internes à la cognition numérique sont considérés. Parmi les premiers, on relèvera une mémoire de travail faible, des processus d'inhibition inadéquats et une vitesse de traitement trop lente. Parmi les seconds, on classera un comptage ralenti et une maîtrise imparfaite des principes sous-jacents au comptage. A cette liste, Ta'ir et al. (1997) ajoutent un déficit au niveau du système de l'accumulateur.

Bien sûr, la recherche dans ce domaine n'en est qu'à ses débuts mais cette démarche nous paraît toutefois prometteuse. Elle va en effet plus loin que la perspective modulaire stricte qui consiste à dresser l'inventaire des modules fonctionnant correctement ou pas. Ce courant s'écarte ainsi d'une perspective innée pour se rapprocher du neuro-constructivisme (Karmiloff-Smith, 1998). Le neuro-constructivisme reconnaît l'existence de contraintes biologiques innées au développement des facultés cognitives mais ces bases innées sont considérées comme beaucoup moins spécifiques que ne le supposent les

innéistes. L'humain disposerait au départ de mécanismes relativement généraux et ce n'est qu'au cours du développement, à force de traiter certains types de stimuli, que ces mécanismes deviendraient plus spécifiques. L'organisation en modules indépendants ne serait donc pas un donné du départ mais bien une construction progressive et lente tout au long du processus de développement. L'étude de la pathologie développementale viserait donc à identifier ces mécanismes de base innés qui pourraient être à la source du dysfonctionnement.

RÉFÉRENCES

- Badian, N.A. (1983). Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. In H.R. Myklebust (Ed.), *Progress in learning disabilities* (vol 5, pp. 235-264). New York : Stratton.
- Bakwin, H., & Bakwin, R.M. (1960). *Clinical management of behavior disorders in children*. Philadelphia : Saunders.
- Barrouillet, P., Fayol, M., & Lathulière, E. (1997). Selecting between competitors in multiplication tasks : An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development*, 21, 253-275.
- Benson, D.F., & Geschwind, N. (1970). Developmental Gerstmann syndrome. *Neurology*, 20, 293.
- Benton, A.L. (1977). Reflections on the Gerstmann syndrome. *Brain and Language*, 4, 45-62.
- Briars, D., & Siegler, R.S. (1984). A featural analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology*, 20, 607-618.
- Bull, R., & Johnson, R.S. (1997). Children's arithmetical difficulties : Contributions from processing speed, item identification and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24.
- Cipolotti, L., Butterworth, B., & Denes, G. (1991). A specific deficit for numbers in case of dense acalculia. *Brain*, 114, 2619-2637.
- Cohn, R. (1968). Developmental dyscalculia. *Pediatric Clinics of North America*, 15, 3.
- Delazer, M., & Benke, T. (1997). Arithmetic facts without meaning. *Cortex*, 33, 697-710.
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe (1998). Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance : A longitudinal study. *Cognition*, 68, B63-B70.
- Fleischner, F.E., Garnett, K., & Shepard, M. (1982). Proficiency in arithmetic basic fact computation by learning disabled and nondisabled children. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 4 (2), 47-55.
- Fodor, J.A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MIT Press.
- Gallistel, C.R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44, 43-74.
- Gathercole, S.E., & Baddeley, A.D. (1993). *Working memory and language*. Lawrence Erlbaum Associates, Howe.

- Geary, D.C. (1990). A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 363-383.
- Geary, D.C. (1993). Mathematical disabilities : Cognitive, neuropsychological and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114 (2), 345-362.
- Geary, D.C. (1994) *Children's Mathematical Development*. Washington, D.C. : American Psychological Association.
- Geary, D.C., Bow-Thomas, C.C., & Yao, Y. (1992). Counting knowledge and skill in cognitive addition : A comparison of normal and mathematically disabled-children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 54, 372-391.
- Geary, D.C., & Brown, S.C. (1991). Cognitive addition : Strategy choice and speed-of-processing differences in gifted, normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology*, 27, 398-406.
- Geary, D.C., Brown, S.C., & Samaranayake, V.A. (1991). Cognitive addition : A short-longitudinal study of strategy-choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology*, 27 (5), 787-797.
- Geary, D.C., Widaman, K.F., Little, T.D., & Cormier, P. (1987). Cognitive addition : comparison of learning disabled and academically normal elementary school children. *Cognitive development*, 2, 249-269
- Gelman, R., & Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge : Harvard University Press.
- Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398-408.
- Ginsburg, H. (1977). *Children's arithmetic : The learning process*. New York : Van Nostrand.
- Ginsburg, H.P., & Russell, R.L. (1981). Social class and racial influences on early mathematical thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. 46, 6, serial n° 196.
- Grigsby, J.P., Kemper, M.B., & Hagerman, R.J. (1987). Developmental Gerstmann syndrome without aphasia in fragile X syndrome. *Neuropsychologia*, 25, 881-891.
- Goldman, S.R., Pelligrino, J.W., & Mertz, D.L. (1988). Extended practice of basic addition facts : Strategy changes in learning-disabled students. *Cognition and Instruction*, 5 (3), 223-265.
- Guttmann, E. (1937). Congenital arithmetic disability and acalculia (Henschen). *British Journal of Medical Psychology*, 16, 16-35.
- Hécaen, H., Angerlergues, R., & Houiller, S. (1961) Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétrorolandiques : Approche statistique du problème. *Revue Neurologique*, 105, 85-103.
- Hinshelwood, J. (1917). *Letter, word and mind-blindness*. London : H.K. Lewis.
- Hitch, G.J., & McAuley, E. (1991). Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology*, 82, 375-386.
- Hittmair-Delazer, M., Sailer, U., & Benke, Th. (1995). Impaired arithmetic facts, but intact conceptual knowledge. A single case study of dyscalculia. *Cortex*, 31, 139-147.

- Hittmair-Delazer, M., Semenza, C., & Denes, G. (1994) Concepts and facts in calculation. *Brain*, 117, 715-728.
- Howell, R., Sidorenko, E., & Jurica, J. (1987). The effects of computer use on the acquisition of multiplication facts by a student with learning disabilities, *Journal of Learning Disabilities*, 20, 236-341.
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 389-398.
- Kinsbourne, M., & Warrington, E.K. (1963). The developmental Gerstmann syndrome. *Archives of Neurology*, 8, 490.
- Kosc, L. (1974). Developmental dyscalculia. *Journal of Learning disabilities*, 7, 165-177.
- Lemaire, P., & Siegler, R.S. (1995). Four aspects of strategic changes : Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology : General*, 124, 83-97.
- Lewis, C., Hitch, G.J., & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- and 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35 (2), 283-292.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation : Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4, 171-196.
- Ostad, S.A. (1998). Developmental differences in solving simple arithmetic word problems and simple number-facts problems : A comparison of mathematically normal and mathematically disabled children. *Mathematical Cognition*, 4, 1-19.
- Rourke, B.P. (1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise : A neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 26 (4), 214-226.
- Rourke, B.P., & Conway, J.A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning : Perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities*, 30 (1), 34-46
- Rourke, B.P., & Finlayson, M.A.J. (1978). Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance : Verbal and visual-spatial abilities. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 6, 121-133.
- Rovet, J., Szekely, C., & Hockenberry, M.N. (1994). Specific arithmetic calculation deficits in children with Turner Syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16 (6), 820-839.
- Siegel, L.S., & Ryan, E.B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.
- Siegler, R.S. (1995). How does change occur : A microgenetic study of number conservation. *Cognitive Psychology*, 28, 225-273.
- Siegler, R.S., & Jenkins, E. (1989). *How children discover new strategies*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Sokol, S.M., Macaruso, P., & Gollan, T.H. (1994). Developmental dyscalculia and cognitive neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 10, 413-441.

-
- Spiers, P.A. (1987). Acalculia revised : Current issues. In G. Deloche & X. Seron (Eds.), *Mathematical disabilities. A cognitive Neuropsychological Perspective*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Sullivan, K.S., Macaruso, P., & Sokol, S.M. (1996). Remediation of Arabic number processing in a case of developmental dyscalculia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6, 27-53.
- Svenson, O., & Broquist, S. (1975). Strategies for solving simple addition problems : a comparison of normal and subnormal children. *Scandinavian Journal of Psychology*, 16, 143-151.
- Ta'ir, J., Brezner, A., & Ariel, R. (1997). Profound developmental dyscalculia : Evidence for a cardinal/ordinal skills acquisition device. *Brain and Cognition*, 35, 184-206.
- Temple, C.M. (1989). Digit dyslexia : A category-specific disorder in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology*, 6 (1), 93-116.
- Temple, C.M. (1991). Procedural dyscalculia and number fact dyscalculia : Double dissociation in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology*, 8 (2), 155-176.
- Temple, C.M. (1992a). Developmental and acquired disorders of childhood. In I. Rapin, S.J. Segalowitz, F. Boller and J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol 6. *Child Neuropsychology*, 93-114.
- Temple, C.M. (1992b). Developmental dyscalculia. In S.J. Segalowitz, I. Rapin, F. Boller and J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol 7. *Child Neuropsychology*, 211-222.
- Temple, C.M. (1994). The cognitive neuropsychology of the developmental dyscalculias. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 13 (3), 351-370.
- Temple, C.M. (1997). *Developmental cognitive neuropsychology*. East Sussex : Psychology Press, Erlbaum.
- Temple, C.M., & Marriott, A.J. (1998). Arithmetical ability and disability in Turner's syndrome : A cognitive neuropsychological analysis. *Developmental Neuropsychology*, 14, 47-67.