

RÉSUMÉ :

Les processus de quantification sont à l'origine des apprentissages arithmétiques. Le dénombrement, en particulier, a un rôle primordial dans la construction du nombre. Ce processus nécessite l'énonciation des noms de nombre dans l'ordre correct, et le pointage exhaustif, visuel ou manuel, des objets. La coordination de ces deux habiletés doit permettre d'établir une correspondance stricte entre les objets et les noms de nombre afin d'éviter les erreurs. Du fait de la double nature, verbale et motrice, du dénombrement, les populations présentant un trouble spécifique dans l'une ou l'autre des habiletés vont avoir des difficultés à mettre en œuvre le dénombrement. Nous examinerons tour à tour des populations ayant soit un déficit verbal, comme les dysphasiques, les enfants à troubles langagiers spécifiques (SLI) et les sourds, soit un déficit moteur, comme les dyspraxiques et les enfants infirmes moteurs cérébraux.

MOTS-CLÉS :

Quantification - Dénombrement - Déficit Verbal - Déficit Moteur.

LA QUANTIFICATION, DANS LES POPULATIONS DÉFICIENTES

par Valérie CAMOS

SUMMARY : Quantification processes in populations with deficiency

Quantification processes are the root of arithmetic learning. More specifically, counting has a major role in the acquisition of numerical knowledge. This process requires the saying of the number-words in the correct order and, the pointing, manual or visual, of each and every object. The coordination of these two skills must allow to establish the necessary correspondence between the objects and the number-words. Because of the verbal and motor nature of counting, populations with specific deficiency in one or the other skill should have difficulties in counting. In this paper, we will examine successively populations with verbal deficiency, such as dysphasics, specific language impairments children, and deafs, and populations with motor deficiency, such as dyspraxics and cerebral palsy children.

KEY-WORDS :

Quantification - Counting - Verbal Deficiency - Motor Deficiency.

LA QUANTIFICATION DANS LES POPULATIONS DÉFICIENTES

Selon Halford*, les processus de quantification sont fondamentaux pour le développement du concept de nombre. En effet, grâce à ces processus, l'enfant peut vérifier ses raisonnements. Par exemple dans la tâche de conservation, il peut comparer la taille de deux collections après l'assignation de valeurs numériques à ces collections*. Trois processus de quantification ont été décrits : le dénombrement, le subitizing et l'estimation**.

LES TROIS PROCESSUS DE QUANTIFICATION

Parmi les processus de quantification, l'estimation a jusqu'à présent fait l'objet de peu d'études. Quelques modèles mathématiques ont été proposés pour expliquer ce processus*. Par exemple, la numérosité serait évaluée par le produit de l'aire visuelle par la densité des objets. Ainsi les sous-estimations souvent observées chez l'enfant et parfois même chez l'adulte seraient dues à l'utilisation d'une mauvaise règle (i.e., aire + densité) plutôt que la règle correcte (aire x densité)*.

Le terme «subitizing» décrit le processus perceptif rapide et sûr d'appréhension immédiate de la numérosité pour les petites collections*. Dans certaines expériences où des adultes doivent déterminer le plus rapidement et le plus correctement possible le nombre d'objets présentés, le temps de réponse augmente linéairement avec la taille de la collection. Cependant, cette relation linéaire entre le temps de réponse et la numérosité n'a pu être mise en évidence que lorsque la collection dépassait 4-6 objets*. Pour les numérosités de 1 à 4, les temps étaient brefs et n'augmentaient que très modérément avec le nombre d'objets. Ces résultats suggèrent que deux processus sont utilisés : le dénombrement pour les collections supérieures à 4, et le subitizing pour les collections inférieures à 4 objets*. Trois principaux modèles théoriques ont été proposés afin d'expliquer ce processus de subitizing. Tout d'abord, Gallistel et Gelman* défendent un point de vue radical selon lequel le subitizing ne serait rien d'autre qu'un dénombrement très rapide utilisant des étiquettes non-verbales. Le subitizing ne serait ainsi qu'une forme primitive de dénombrement*. Ensuite, Mandler et Shebo** proposent un modèle alternatif reposant sur la reconnaissance de configurations canoniques, ou patrons perceptifs*. Pour de petites collections, la disposition d'objets forme des configurations spatiales canoniques pouvant être reconnues rapidement: 1 = un point, 2 = une ligne, 3 = un triangle. Le système visuel pourrait, par exemple, reconnaître la ternarité par une configuration en triangle, quelle que soit la nature des objets la constituant. Enfin, d'autres résultats amènent à penser que le subitizing est en fait un processus pré-attentif de reconnaissance visuelle. Selon Trick et Pylyshyn*, le subitizing et le dénombrement seraient deux effets de la construction de notre système visuel : il existerait une étape parallèle (pré-attentive) dirigeant le subitizing et une étape sérielle (attentionnelle) guidant le dénombrement. Trick et Pylyshyn* postulent qu'un nombre limité d'index spatiaux dénommés FINSTs (i.e., «FINgers of INSTantiation») s'attacheraient automatiquement à chaque objet et le rendraient accessible à des routines visuelles demandant de l'attention. Dans le subitizing, les sujets rapporteraient simplement le nombre de FINSTs associés aux objets. Le subitizing serait donc lié au dénombrement. Cependant, son existence même en tant que processus indépendant du dénombrement reste controversé, voire dénié par certains* alors qu'il est défendu par d'autres**.

Le dénombrement est le processus de quantification qui a suscité le plus de recherches. Bien que la plupart des chercheurs dans ce domaine s'accorde sur l'existence d'une certaine sensibilité aux quantités discrètes dès la naissance*, tous n'accordent pas la même importance à la part de l'inné par rapport à celle de l'exercice. En effet, en ce qui concerne l'émergence du dénombrement dans l'enfance, deux points de vue théoriques s'opposent : la théorie dite des «principes-en-premier» et celle dite des «principes-après». La théorie des principes-en-premier* affirme que les principes guidant le dénombrement seraient innés*. Ils existeraient donc chez l'enfant avant même qu'il ait une quelconque

*1993

*Clements, 1984 ; Fuson, Secada Hall, 1983 ; Mc Evoy & O'Moore, 1991

**pour une synthèse voir Barrouillet et Camos, sous presse ; Camos, 1999a ; Dehaene, 1992, 1997 ; Payol, 1985, 1990

*Allik et Tuulmets, 1991 ; van Oeffelen et Vos, 1982 ; Vos, van Oeffelen, Tibosch Allik, 1988

*Cuneo, 1982

*Kaufman, Lord, Reese et Volkman, 1949

*Mandler et Shebo, 1982

*Chi et Klahr, 1975 ; Mandler et Shebo, 1982 *1991, 1992

*Gelman et Gallistel, 1978 **1982

*Von Glaserfeld, 1982 ; Wolters, Kempen et Wijhuisen, 1987

*1993, 1994

*1993, 1994 ; Trick, 1988

*Gallistel, 1988

**Davis et Pêrusse, 1988

*Briars et Siegler, 1984 ; Fuson, 1988 ; Gallistel et Gelman, 1992 ; Gelman et Gallistel, 1978 ; Resnick, 1986 ; Wynn, 1990

*Gelman et Gallistel, 1978

*Stacky, Spelke, Gelman, 1991

expérience du dénombrement. Ils permettraient à l'enfant

(1) de reconnaître les activités de dénombrement comme relevant du dénombrement et non d'activités dépourvues de sens, et

(2) d'acquiescer et de contrôler ses propres procédures de dénombrement. Ces principes définis par Gelman et Gallistel* sont au nombre de cinq : le principe de correspondance un à un, le principe d'ordre stable, le principe de cardinalité, le principe d'abstraction, et le principe de non-pertinence de l'ordre. Pour Gelman*, les enfants disposent d'une connaissance implicite des principes. Le développement ne consisterait pas en l'acquisition de concepts ou principes nouveaux mais en une meilleure gestion de l'activité de dénombrement. Par opposition à la théorie des principes-en-premier, la théorie des principes-après postule que les principes sont progressivement abstraits d'une pratique répétée des procédures de dénombrement acquises par imitation*. Le dénombrement serait d'abord une activité sans but, une routine, et l'enfant ne découvrirait que progressivement ses liens avec la cardinalité. Cette conception ne réfute pas que les enfants auraient dès la naissance une sensibilité au nombre. Cette sensibilité serait le fondement sur lequel se bâtiraient les apprentissages arithmétiques, mais elle n'en constituerait pas la structure, comme c'est le cas dans la théorie des principes-en-premier. Klahr et Wallace* ont suggéré qu'en appliquant une routine de dénombrement (à l'origine non porteuse de sens) à des collections de taille pouvant être subitizées, les enfants pourraient associer le dernier mot-nombre énoncé avec le cardinal obtenu grâce au subitizing. Les enfants acquerraient ainsi le principe de cardinalité. La connaissance conceptuelle du dénombrement proviendrait des régularités que les enfants pourraient extraire de leurs activités de dénombrement*.

Parmi les différents processus de quantification que nous venons de décrire, un processus, le dénombrement, semble se distinguer des autres par le nombre de recherches qui lui est consacré et par l'importance théorique qu'on lui accorde. Les deux autres processus de quantification, le subitizing et l'estimation, ne peuvent concerner qu'un nombre limité de phénomènes. De plus, ils pourraient eux-mêmes dépendre du dénombrement. Nous nous intéresserons plus spécifiquement à ce dernier en proposant une analyse fonctionnelle de ses composantes et des contraintes qui pèsent sur sa mise en œuvre.

LE DÉNOMBREMENT, UNE ACTIVITÉ À DEUX COMPOSANTES

Dénombrer un ensemble d'objets exige de les considérer les uns après les autres et d'associer à chacun un nombre dans un ordre fixe*. Cette capacité est sous-tendue par deux habiletés. La première nécessite d'énoncer les noms de nombre dans l'ordre correct. La seconde consiste à considérer chaque objet successivement, de manière exhaustive et sans répétition (i.e., à pointer du doigt ou à fixer du regard). Ces deux habiletés doivent être coordonnées afin d'assurer une correspondance un-à-un entre les noms de nombre et les objets de la collection. En d'autres termes, le dénombrement est décrit comme une activité nécessitant :

- 1) la connaissance et l'énonciation des noms de nombre dans l'ordre correct, et
- 2) le pointage, visuel ou manuel, de chaque élément jusqu'à ce que tous aient été considérés une fois et une fois seulement*. La coordination de ces deux activités doit permettre d'établir une correspondance stricte entre les objets et les noms de nombre afin d'éviter les oublis et les doubles-comptages*.

Gelman et Fuson, dont nous avons évoqué les points de vue respectifs et contradictoires sur la primauté des principes sous-jacents au dénombrement (i.e., principes-en-premier et principes-après), se sont également intéressés à cette activité sous l'angle de sa mise en œuvre.

Pour Gelman et Gallistel*, le dénombrement nécessiterait deux processus : l'étiquetage («tagging») et la partition («partitioning») qui devraient être coordonnés. L'étiquetage nécessiterait d'assigner un mot-nombre à chaque objet de la collection. La partition serait la séparation des objets en deux groupes, ceux ayant déjà été comptés et ceux qu'il reste à compter. Lors du dénombrement, les enfants pointent du doigt chaque objet (les adultes pointant plus fréquemment du regard) ou bien les déplacent dès qu'ils ont été comptés,

*1978

*1983

*Fuson, 1988 ; Fuson et Hall, 1983

*1976

*Briars et Siegler, 1984

*Potter et Levy, 1968

*Beckwith et Restle, 1966 ; Carnos, 1999b ; Potter et Levy, 1968

*Fayol, 1985, 1990 ; Fuson, 1988

*1978

marquant ainsi leur progression dans le dénombrement. Les enfants peuvent produire des erreurs aussi bien dans l'étiquetage que dans la partition. Une erreur d'étiquetage serait par exemple l'attribution d'un même mot-nombre à plusieurs objets. Oublier de déplacer un objet du groupe «encore-à-compter» à celui des «déjà-comptés» (déplacement réel ou au niveau de la représentation de la collection) constituerait une erreur de partition. Gelman et Gallistel* ont observé que l'erreur la plus commune impliquait la coordination des processus d'étiquetage et de partition, soit l'échec dans l'arrêt simultané des deux activités. La règle permettant l'arrêt de l'activité («Stop rule») a particulièrement retenu leur attention.

*1978

Fuson* a également très largement étudié les erreurs de dénombrement produites par les enfants dans diverses situations. Elle a analysé en détail la structure spatiale et temporelle du comportement de l'enfant lors de diverses tâches de dénombrement ainsi que l'influence de facteurs physiques (taille, dispositions spatiales) et contextuels (limites temporelles) sur les stratégies de dénombrement. Parce que les mots sont organisés temporellement et les objets spatialement, la coordination de l'activité verbale et de l'activité motrice devrait se faire par l'intermédiaire du pointage (visuel ou manuel). Ce pointage, qui serait aussi bien temporel que spatial, servirait de médiateur et impliquerait deux types de correspondance : une correspondance temporelle entre l'énonciation d'un mot-nombre et le pointage d'un objet et une correspondance spatiale entre le pointage de l'objet et sa position dans la collection. Le dénombrement nécessiterait pour être réussi cette double correspondance temporelle et spatiale. Des recherches récentes prolongent les travaux de Fuson sur l'impact du pointage dans le dénombrement. Alibali et Di Russo* ainsi que Graham** montrent que le pointage (gestuel) n'a pas un simple rôle de repérage des objets mais permet véritablement l'internalisation du principe de correspondance un à un. De plus amples recherches dans ce sens devraient permettre de mieux comprendre l'importance de la motricité dans les activités numériques et plus particulièrement dans le dénombrement.

*1988

*1999 **1999

Le dénombrement est donc une activité à deux composantes dont la difficulté dépend de la capacité du sujet à pointer les objets et à énoncer la chaîne numérique. Cependant, la réussite au pointage et à l'énonciation ne suffit pas. La nécessité de synchroniser les deux habiletés, ce qui va requérir leur coordination, peut, si elle échoue, provoquer des erreurs dans la détermination de la cardinalité. Cette coordination dépendrait, d'une part, de la difficulté de mise en oeuvre des habiletés d'énonciation et de pointage et, d'autre part, de la synchronisation entre accès aux noms de nombres et désignation de chacun des éléments*. La coordination permettant la synchronisation des deux activités verbale et visuo-spatiale nécessiterait une allocation d'attention*, faisant ainsi de ce processus la composante la plus coûteuse du dénombrement. Néanmoins, des études récentes ont montré qu'à partir de 5 ans cette coordination ne présentait plus de coût attentionnel*. Contrairement à ce qui était prédit, l'interaction entre les variables verbale et perceptivo-motrice n'est pas significative : les effets sont simplement additifs. Dans d'autres mots, tout se passe comme si le dénombrement mobilisait des habiletés (i.e., pointage et énonciation) dont les coûts de mise en oeuvre s'ajoutaient sans que la difficulté de coordination ne se trouve modifiée. Plus encore, Camos et coll.* relèvent un effet de facilitation : la vitesse de dénombrement est plus élevée que la vitesse de la plus lente des deux habiletés ! Chez les enfants les plus jeunes (5 ou 6 ans), l'énonciation de la chaîne numérique est favorisée lorsque les enfants mettent en oeuvre un pointage simultané (c'est-à-dire lors du dénombrement) plutôt que lors de la simple récitation de la comptine. Un tel résultat s'avère difficilement compatible avec la conception de Gelman. Elle conforte plutôt celle d'une procédure apprise par la pratique, et qui se révélerait plus efficace que ses composantes.

*Briars et Siegler, 1984 ; Camos, 1999b

*Baddeley et Hitch, 1974 ; Case, 1985

*Camos, Fayol, Barrouillet, 1999 ; Camos, Barrouillet, Fayol, 2001 ; Towse et Hitch, 1997

*1999 ; 2001

Comme nous venons de le voir, le dénombrement a deux composantes, l'une verbale et l'autre motrice qui vont chacune affecter les performances en dénombrement. Nous allons donc nous intéresser aux populations qui présentent des déficits spécifiques soit verbaux soit moteurs afin de comprendre comment, malgré ces troubles, le dénombrement est mis en oeuvre.

LE DÉNOMBREMENT DANS DES POPULATIONS AVEC DÉFICITS VERBAUX

Les études se sont attachées plus particulièrement à trois populations : les enfants dysphasiques, les enfants souffrant de troubles du langage (SLI : Specific Language Impairment) et les enfants sourds.

Chez l'enfant porteur d'une dysphasie de développement, les rares travaux sur leurs difficultés dans les acquisitions arithmétiques décrivent plus des limitations de performances que des désordres dans les mécanismes d'acquisition ou dans les compétences*. Dans une étude portant sur des enfants dysphasiques de 8 ans, Camos et coll.* ont évalué les performances de ces enfants grâce à des épreuves de production et leurs compétences grâce à des épreuves de jugement. Au niveau des compétences, les enfants dysphasiques ont des résultats similaires à ceux d'enfants d'un groupe contrôle de même âge. La seule difficulté des enfants dysphasiques se situe au niveau de la longueur de leur chaîne numérique verbale, laquelle est restreinte par rapport à celle des enfants de leur groupe contrôle et même à celle des enfants d'un second groupe contrôle qui ont en moyenne deux ans de moins (i.e. enfants de 6 ans). Contrairement à ce que Camos et coll.* avaient observé chez de jeunes enfants sans déficit, l'énonciation de la chaîne numérique lors du dénombrement n'aide pas les enfants dysphasiques à produire la chaîne verbale plus correctement ni plus rapidement. Lors du dénombrement, ils font même plus d'erreurs (probablement dues à la nécessaire gestion en parallèle de deux habiletés, énonciation et pointage) tout en conservant des temps sensiblement identiques (en fait, très légèrement inférieurs).

Les enfants avec des troubles spécifiques du langage présentent également un retard dans l'acquisition de la chaîne numérique verbale*. Par exemple, des enfants de 4 ou 5 ans ne peuvent produire une chaîne correcte au-delà de 10. La taille moyenne de la chaîne numérique pour les enfants de 6 ou 7 ans est de 42 (i.e. énonciation sans erreur et sans aide jusqu'à 42) alors que les enfants sans déficit de même âge peuvent aller jusqu'à 85*. En ce qui concerne les connaissances conceptuelles sous-tendant le dénombrement, les enfants avec troubles spécifiques du langage ont une bonne compréhension à la fois des principes mais également de l'intérêt d'utiliser le dénombrement pour résoudre certains problèmes, comme les problèmes impliquant des additions simples. Par contre, la mise en œuvre du dénombrement est difficile, même chez des enfants de 6 ou 7 ans. Pour les petites collections inférieures à 10 objets, les enfants avec troubles langagiers ont des performances similaires à ceux d'enfants contrôle de leur âge. Cependant, pour les collections entre 10 et 30 objets, ils ont des résultats significativement inférieurs à ceux des enfants contrôles. Cette difficulté est due au fait que les enfants avec troubles langagiers échouent à produire la chaîne numérique et plus spécifiquement à récupérer en mémoire à long-terme les noms de nombre. Toutefois, lorsqu'on compare la production de noms de nombre lors de l'énonciation seule et lors du dénombrement, ces enfants ont de meilleures performances lorsqu'ils doivent utiliser la chaîne numérique dans le dénombrement. Ce résultat serait à rapprocher de ce qui est observé chez les jeunes enfants sans déficit*.

Les enfants sourds constituent également une population où l'on peut s'attendre à observer des difficultés de dénombrement dues à leur pauvre capacité langagière. Peu d'études sont consacrées aux activités mathématiques chez les sourds et moins encore à la quantification. Toutefois, dans une étude sur la résolution d'opérations élémentaires, Hitch, Arnold, et Phillips* ont montré que des enfants sourds de 11 ans utilisaient tout autant le comptage pour déterminer la réponse d'additions simples que des enfants entendants. Si cette étude met en évidence la compréhension du rôle du comptage comme outil de résolution d'opérations par les enfants sourds, il faut néanmoins remarquer que les enfants entendants du groupe contrôle étaient 4 ans plus jeunes que les enfants sourds auxquels on les comparait. Ceci conforte les résultats de nombreuses recherches où les enfants sourds présentent un plus ou moins grand retard en mathématiques par rapport à leurs pairs entendant*. Ce retard ne proviendrait pas uniquement de la surdité elle-même mais également de la déprivation d'information et de la moindre opportunité d'apprentissages «accidentels», via les jeux, les histoires ou la

*Lacert et Camos, sous presse

*1998

*1999, 2001

*Fazio, 1994, 1996, 1999

*Fazio, 1996

*Camos et coll., 1999, 2001

*1983

*Allen, 1986 ; Cacouette, 1973 ; Furth, 1966, 1971 ; Pau, 1995 ; Watts, 1979, 1981, 1982 ; Wood, Wood et Howarth, 1983 ; Wood, Wood, Kingsmill, French, Howarth, 1984

télévision*. Une étude récente s'est intéressée à un aspect du comptage spécifique aux enfants sourds : le dénombrement en langue des signes*. Cette étude souligne que les enfants sourds d'âge moyen 5 ans ne diffèrent pas des enfants entendants de même âge ni sur la mise en œuvre du principe de correspondance un à un (c'est à dire un mot pour un objet) ni sur le pointage des objets (c'est-à-dire qu'ils ne faisaient pas plus d'oubli ni de double comptage que les enfants entendants). Par contre, les enfants sourds produisaient plus d'erreurs dans la séquence de nombres. Une erreur en particulier leur était spécifique. Elle consistait à produire les mêmes nombres de façon répétée : par exemple, « un, deux, trois, un, deux, un deux, trois » pour dénombrer des collections de 8 objets. Cette étude montre également un retard des enfants sourds dans la production de la chaîne numérique, retard de 2 ans par rapport aux enfants entendants. Malgré ce retard, les enfants sourds ont une bonne compréhension du principe de correspondance un à un. Les auteurs suggèrent que l'utilisation d'un dénombrement visuo-manuel par les enfants sourds faciliterait la capacité à faire le lien entre une quantité et le nombre qui lui correspond. La structure de la langue des signes qui fait apparaître clairement la base* pourrait également être à la source de cette facilitation.

L'étude de ces trois populations montre que, quel que soit le déficit de ces enfants (dysphasie, SLI ou surdité), les déficits verbaux affectent la construction de la chaîne numérique verbale et vont donc en conséquence amoindrir les performances de ces enfants en dénombrement par rapport à des enfants contrôles de même âge. Cependant, on remarquera que ces enfants ne présentent aucune difficulté en ce qui concerne la compréhension des principes sous-tendant le dénombrement et le rôle que celui-ci peut jouer dans la résolution d'opérations. Ceci semble supporter l'idée d'une relative indépendance entre les capacités langagières des enfants et leurs capacités conceptuelles dans le domaine numérique (voir pour une discussion du lien entre langage et compétences conceptuelles, Donlan, 1998).

La dernière étude sur les enfants sourds souligne également l'importance de la motricité dans l'activité de dénombrement. Dans la partie suivante, nous allons nous focaliser sur des populations ayant des déficits spécifiquement moteurs.

LE DÉNOMBREMENT DANS DES POPULATIONS AVEC DÉFICITS MOTEURS

L'étude des performances en lecture, écriture et arithmétique d'enfants de 9 à 14 ans a montré que les enfants en difficulté en arithmétique obtenaient des résultats plus faibles que la normale à un ensemble de tests psychomoteurs et perceptivo-tactiles*. Bien que Ozols et Rourke* n'aient pu retrouver une corrélation aussi claire entre les performances en arithmétique et les scores aux tests psychomoteurs chez des enfants de 7-8 ans, Fayol et coll.* ont mis en évidence une telle corrélation chez des enfants de 5-6 ans**. Si l'étude de Fayol et coll.* permet de renforcer les résultats précédemment observés par Rourke, elle permet également, de par sa nature longitudinale, d'établir le lien causal entre les performances en arithmétique et aux tests psychomoteurs, les scores aux tests psychomoteurs effectués à 5 ans prédisant les performances en arithmétique à 6 ans. Pour Fayol et coll.*, cette causalité s'explique par le fait que la résolution des tâches arithmétiques dépend principalement des procédures de dénombrement. En effet, le dénombrement est à la base de tous les apprentissages arithmétiques. Les toutes premières additions par exemple sont résolues par le comptage soit des doigts, soit d'objets représentant les quantités à additionner*.

Ces études portant sur les enfants ayant des difficultés en arithmétique ou sur des enfants sans déficit montrent l'importance réelle que la motricité a sur le développement des habiletés numériques. Les enfants présentant des troubles spécifiques de la motricité vont donc rencontrer de plus grandes difficultés dans les apprentissages arithmétiques, principalement dues à une mise en œuvre difficile du dénombrement. Nous allons donc présenter les recherches menées sur les enfants dyspraxiques et sur les enfants infirmes moteurs cérébraux.

En employant des épreuves identiques à celles que nous avons utilisées avec des enfants dysphasiques*, nous avons testé les performances et les compétences d'enfants dys-

*Furth, 1966 ; Nunes et Moreno, 1998 ; Rapin, 1986
*Leybaert et Van Cutsem, 2002

*Il faut noter que la langue des signes n'est pas à base 10 mais à base 5, puisqu'elle est naturellement dérivée de la main et des 5 doigts

*Rourke et Finlayson, 1978

*1988

*1998

**voir également, Marinthe, Fayol, Barrouillet, 1999 **1998

*1998

*Fuson, 1988 ; Siegler et Shrager, 1984

praxiques de 6 ans. Comme pour les enfants ayant des déficits verbaux, les enfants dyspraxiques ont dans l'ensemble des compétences similaires à celles d'enfants de même âge ne présentant aucun trouble. Les enfants dyspraxiques présentent, toutefois, des résultats légèrement inférieurs en pointage et en dénombrement. Ce résultat est sans doute dû à leurs difficultés d'exploration spatiale ou plus encore à leurs troubles oculomoteurs. Bien qu'ils aient tous déjà bénéficié d'une rééducation de l'oculomotricité (travail de la poursuite oculaire, des saccades) et également d'une rééducation ergothérapeutique (travail de l'exploration spatiale), ils présentent encore des difficultés dans le repérage des éléments, affectant aussi bien le pointage que le dénombrement. En ce qui concerne leurs performances, les enfants dyspraxiques font plus d'erreurs et sont surtout beaucoup plus lents que les enfants de leur groupe contrôle. Cette tendance est encore plus marquée pour les épreuves de pointage et de dénombrement. Lors des épreuves de production nécessitant le pointage, ils commettent différents types d'erreurs (répétition, omission,...) alors que lors des épreuves de jugement, seule la détection de l'omission leur posait problème. Il est intéressant de noter qu'une partie du travail effectué en ergothérapie concernant l'exploration visuelle s'appuyait sur du verbal (e.g., travail de la comptine afin de donner un support verbal pour passer d'un objet à un autre). Ainsi, lors de la passation des différentes épreuves, nous avons constaté que ces enfants dyspraxiques avaient de meilleurs résultats en dénombrement de collections homogènes (c'est-à-dire sans distracteurs) que lors du pointage (i.e. temps plus faibles pour toutes les collections et moins d'erreurs pour les collections où les objets sont alignés). L'énonciation de la chaîne numérique en même temps que le pointage des éléments lors du dénombrement semble apporter une aide aux enfants dyspraxiques. Comme l'avait déjà signalé Luria* une activité verbale peut favoriser le déroulement simultané d'une activité motrice. Toutefois, il faudrait étudier plus précisément l'impact que les activités verbale et motrice ont l'une sur l'autre pour savoir si l'effet observé ici sur les dyspraxiques n'est que la conséquence de leur rééducation ou si l'activité verbale est véritablement un support à l'activité motrice qui se trouve chez eux défaillante.

*1959a, 1959b, 1961

En ce qui concerne les enfants IMC et bien que ces enfants aient des troubles moteurs, Arp et Fagard* ont montré que des enfants de 5 à 9 ans utilisaient le pointage manuel tout autant que leurs pairs sans déficit. De plus, ils ne mettaient en place aucune stratégie de compensation de leur trouble, leurs stratégies étant similaires à celles d'enfants sans déficit de 5 ans. Dans une étude que nous avons menée sur des adolescents IMC d'âge moyen 15 ans, nous retrouvons des résultats similaires à ceux de Arp et Fagard*. Tout d'abord, les adolescents handicapés moteurs ont un taux de réussite au dénombrement significativement inférieur à ceux de deux groupes contrôles, l'un apparié sur le QI verbal et l'autre sur le QI performance. Il est cependant possible d'affirmer que les adolescents IMC avaient les connaissances nécessaires à l'accomplissement de la tâche, leurs résultats s'améliorant nettement lorsque la taille de la collection diminue. En ce qui concerne les stratégies, tous les adolescents IMC utilisaient massivement une stratégie proximale. Ils n'organisaient pas leur déplacement dans la collection selon un plan pré-établi mais allaient d'un point à son voisin le plus proche. Shannon* a décrit les différentes stratégies d'exploration que l'on peut rencontrer lors du dénombrement chez des enfants sans déficit. Les enfants passeraient de l'utilisation d'une stratégie de dénombrement exclusivement proximale à une intégration petit à petit de la stratégie périphérique (i.e. commencer par le contour de la collection puis dénombrer les objets au centre) puis à celle de la stratégie linéaire (i.e. organiser son dénombrement selon des lignes soit verticales soit horizontales). La stratégie massivement utilisée par les adolescents IMC est donc la plus primitive et elle est habituellement observée chez les enfants de 3 ans*. On trouve également quelques utilisations de la stratégie périphérique. Cependant, lorsque nous comparons les stratégies des adolescents IMC avec celles de leurs groupes contrôles, les adolescents ont nettement recours à des stratégies moins matures, même par rapport aux enfants du groupe apparié sur le QI performance qui eux utilisent déjà des stratégies linéaires.

*2001

*2001 - voir Montaru, 2002

*1978

*Shannon, 1978

En résumé, les enfants avec des troubles moteurs ont de médiocres performances en dénombrement. Ce sont principalement les enfants IMC qui ont un important retard, les enfants

dyspraxiques ayant plutôt une gêne dans la mise en oeuvre de la procédure de dénombrement. Dans ces deux populations, et bien que le pointage manuel soit la source principale de leurs difficultés, les enfants utilisent beaucoup le geste lors du dénombrement et même plus que des enfants sans déficit appariés sur le niveau de performance. Le passage à un contrôle visuel du dénombrement, qui constitue la suite naturelle du pointage gestuel, est très difficile pour ces enfants, et plus particulièrement pour les enfants IMC qui ont très souvent des troubles de la poursuite oculomotrice. On peut espérer que la mise en place de situations didactiques amenant ces enfants à utiliser des stratégies d'exploration spatiale de niveau supérieur pourrait permettre d'améliorer leurs performances en dénombrement.

CONCLUSION

Outre ces populations avec troubles spécifiques, des pathologies plus générales vont également altérer la mise en place du dénombrement. Par exemple, la déficience intellectuelle affecte les performances en dénombrement, même lorsqu'on compare les déficients intellectuels avec des enfants ayant le même âge mental. A travers une étude sur des adolescents déficients intellectuels (âge entre 16 et 22 ans et âge mental moyen de 5 ans), nous avons constaté des différences importantes dans les procédures de dénombrement par rapport à un groupe d'enfants appariés sur l'âge mental*. Quelles que soient la tâche et la configuration des collections (aléatoire ou canonique), les déficients utilisaient préférentiellement le dénombrement par pointage manuel de chaque élément. A la tâche de dénombrement de points, cette procédure est utilisée trois fois sur quatre dès le nombre 3. Lors du dénombrement d'objets, ce pointage manuel de chaque élément représente également les deux tiers des procédures. Contrairement à ce que nous attendions, l'effet de canonicité des collections n'est significatif ni sur le pourcentage de pointage manuel ni sur les taux d'erreurs. Ces erreurs de dénombrement augmentent avec la taille de la collection. Elles sont peu nombreuses sur les trois premiers nombres. Toutefois, elles sont deux fois plus nombreuses lors du dénombrement jusqu'à n et du dénombrement d'objets que lors du dénombrement de points. Les déficients commettent également deux fois plus d'erreurs que les enfants du groupe contrôle sur ces deux tâches, mais il existe une grande variabilité entre les adolescents déficients. En effet, les procédures utilisées par les déficients diffèrent d'une tâche à l'autre et même d'un essai à l'autre. Malgré cette variabilité dans leurs performances, il semble que les adolescents déficients puissent subitiser de petites collections, jusqu'à 2 objets. Cependant, ils doivent recourir au dénombrement, principalement avec pointage manuel, dès que la collection comporte plus de deux objets.

Au vu de ces résultats, il est clair que de plus amples études sont nécessaires à l'exploration des capacités de subitizing et de dénombrement chez les enfants et adolescents déficients intellectuels. Plus généralement, de nombreuses recherches sont encore nécessaires pour mieux comprendre la mise en oeuvre du dénombrement dans les populations présentant des pathologies. Cet effort de compréhension est essentiel du fait du rôle primordial joué par le dénombrement dans les apprentissages arithmétiques et dans la construction même du nombre.

BIBLIOGRAPHIE

- ALIBALI M.W., DiRUSSO A. (1999). The function of gesture in learning to count : More than keeping track. *Cognitive Development*, 14, 37-56.
- ALLEN T.E. (1986). Patterns of academic achievement among hearing impaired students : 1974 and 1983. In A.N. Schilroth, M.A. Karchmer (Eds.), *Deaf children in America*. San Diego, CA : College Hill Press.
- ALLIK J., TUULMETS T. (1991). Occupancy model of perceived numerosity. *Perception and Psychophysics*, 49 (4), 303-314.
- ARP S., FAGARD J. (2001). Handicap visuo-manuel et comptage chez l'enfant IMC ancien prématuré. *A.N.A.E. - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 65, 239-248.
- BADDELEY A.D., HITCH G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, Vol. 8. New York : Academic Press.

*Freeman et Camos, 2001

- BARROUILLET P., CAMOS V. (sous presse). Savoirs et savoir-faire arithmétiques et leurs déficiences. In M. Kail et M. Fayol (Eds.), *Les sciences cognitives et l'école. La question des apprentissages* (pp. 285-325). Paris : PUF.
- BECKWITH M., RESTLE F. (1966). Process of enumeration. *Psychological Review*, 73 (5), 437-444.
- BRIARS D., SIEGLER R.S. (1984). A feature analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology*, 20 (4), 607-618.
- CACOUETTE C.E. (1973). Etude longitudinale du développement mental d'enfants sourds. *Bulletin de Psychologie*, 27, 262-275.
- CAMOS V. (1999a). Le dénombrement : Fondement des apprentissages arithmétiques. In *Entretiens d'Orthophonie de Bichat* (pp. 19-30), Paris : Expansion Scientifique Française.
- CAMOS V. (1999b). Le dénombrement : une activité complexe à deux composantes. *Rééducation Orthophonique*, 199, 21-31.
- CAMOS V., BARROUILLET P., FAYOL M. (2001). Does the coordination of verbal and motor information explain the development of counting in children ? *Journal of Experimental Child Psychology*, 78 (3), 240-262.
- CAMOS V., FAYOL M., BARROUILLET P. (1999). Le dénombrement chez l'enfant : double-tâche ou procédure ? *L'Année Psychologique*, 99 (4), 623-645.
- CAMOS V., FAYOL M., LACERT P., BARDI A., LAQUIÈRE C. (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *A.N.A.E. - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 48, 86-91.
- CASE R. (1985). *Intellectual development : Birth to adulthood*. New York, Academic Press.
- CHI M.T.H., KLAHR D. (1975). Span and rate of apprehension in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 19, 434-439.
- CLEMENTS D.H. (1984). Training effects on the development and generalization of piagetian logical operations and knowledge of number. *Journal of Educational Psychology*, 76 (5), 766-776.
- CUENO D.O. (1982). Children's judgments of numerical quantity : A new view of early quantification. *Cognitive Psychology*, 14, 13-44.
- DAVIS H., PÉRUSSE R. (1988). Numerical competence in animals : Definitional issues, current evidence and a new research agenda. *Behavioral and Brain Science*, 11 (4), 561-615.
- DEHAENE S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- DEHAENE S. (1997). *La bosse des Maths*. Paris : O. Jacob.
- DONLAN C. (1998). Number without language ? Studies of children with specific language impairments. In C. Donlan (Ed.), *The development of mathematical skills* (pp. 255-274). Hove : Psychology Press.
- FAYOL M. (1985). Nombre, numération et dénombrement : que sait-on de leur acquisition ? *Revue Française de Pédagogie*, 70, 59-77.
- FAYOL M. (1990). *L'enfant et le nombre*. Paris, Delachaux et Niestlé.
- FAYOL M., BARROUILLET P., MARINTHE C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance : A longitudinal study. *Cognition*, 68, B63-B70.
- FAZIO B.B. (1994). The counting abilities of children with specific language impairment : A comparison of oral and gestural tasks. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 358-368.
- FAZIO B.B. (1996). Mathematical abilities of children with specific language impairment : A 2-year follow-up. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 839-849.
- FAZIO B.B. (1999). Arithmetic calculation, short-term memory, and language performance in children with specific language impairment: A 5-year follow-up. *Journal of Speech and Hearing Research*, 42, 420-431.
- FREEMAN F., CAMOS V. (2001). La quantification de collections chez les déficients intellectuels, *A.N.A.E. - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 65, 231-238.
- FURTH H.G. (1966). *Thinking without language : Psychological implications of deafness*. New York: Free Press.
- FURTH H.G. (1971). Linguistic deficiency and thinking : Research on deaf subjects, 1964-1969. *Psychological Bulletin*, 76, 58-72.
- FUSON K.C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New-York, Springer-Verlag.
- FUSON K., HALL J.W. (1983). The acquisition of early number word meaning : A conceptual analysis and review. In H.P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking*. New-York : Academic Press.
- FUSON K.C., SECADA W.G., HALL J.W. (1983). Matching, counting, and conservation of numerical equivalence. *Child Development*, 54, 91-97.
- GALLISTEL C.R. (1988). Counting versus subitizing versus the sense of number. *Behavioral and Brain Science*, 11 (4), 585-586.
- GALLISTEL C.R., GELMAN R. (1991). Subitizing : The preverbal counting process. In W. KESSEN A., ORTONY F., CRAIK (Eds.), *Memories, thoughts, and emotions: Essays in honor of George Mandler* (pp. 65-81). Hillsdale : Erlbaum
- GALLISTEL C.R., GELMAN R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44, 43-74.
- GELMAN R. (1983). Les bébés et le calcul. *La Recherche*, 14, 1382-1389.
- GELMAN R., GALLISTEL, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge : Harvard University Press.
- GRAHAM T. (1999). The role of gesture in children's learning to count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 333-355
- HALFORD G.S. (1993). *Children's understanding : The development of mental models*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- HITCH G.J., ARNOLD P., PHILLIPS L.J. (1983). Counting process in deaf children's arithmetic. *British Journal of Psychology*, 74, 429-437.
- KAUFMAN E.L., LORD M.W., REESE T.W., VOLKMAN, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 62, 498-525.

- KLAHR D., WALLACE J.G. (1976). *Cognitive development*. Hillsdale : Erlbaum.
- LACERT P., CAMOS V. (sous presse). Les difficultés de calcul du dysphasique. In C.L. Gérard (Ed.), *La dysphasie*. Paris : Editions Masson.
- LEYBAERT J., VAN CUTSEM M.N. (2002). Counting in sign language. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 482-501.
- LURIA A.R. (1959a). The directive function of speech in development and dissolution. Part I : Development of the directive function of speech in early childhood. *Word*, 15, 341-352.
- LURIA A.R. (1959b). The directive function of speech in development and dissolution. Part II : Dissolution of the regulative function of speech in pathological states of the brain. *Word*, 15, 453-464.
- LURIA A.R. (1961). *The role of speech in the regulation of normal and abnormal behaviour*. New-York, Pergamon Press.
- MANDLER G., SHEBO B.J. (1982). Subitizing : an analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology : General*, 111, 1-22.
- MARINTE C., FAYOL M., BARROUILLET P. (1999). Relations entre des performances à des épreuves perceptive-tactiles et des épreuves arithmétiques chez les jeunes enfants. *Rééducation Orthophonique*, 199, 69-79.
- MC EVOY J., O'MOORE A.M. (1991). Number conservation : A fair assessment of numerical understanding. *The Irish Journal of Psychology*, 12 (3), 325-337.
- MONTARU A. (2002). *Les stratégies de dénombrement des adolescents infirmes moteurs cérébraux*. Mémoire de DESS dirigé par P. Barrouillet et V. Camos, Département de Psychologie, Université de Bourgogne.
- NUNES T., MORENO C. (1998). Is hearing impairment a cause of difficulties in learning mathematics? In C. DONLAN (Ed.), *The development of mathematical skills*. Hove : Psychology Press.
- OZOLS E.J., ROURKE B.P. (1988). Characteristics of young learning disabled children classified according to patterns of academic achievement : Auditory-perceptual and visual-perceptual disabilities. *Journal of Clinical Child Psychology*, 17, 44-52.
- PAU C.S. (1995). The deaf child and solving problems of arithmetic : The importance of comprehensive reading. *American Annals of the Deaf*, 140, 279-286.
- POTTER M.C., LEVY E.I. (1968). Spatial enumeration without counting. *Child Development*, 39, 265-272.
- RAPIN I. (1986). Helping deaf children acquire language : Lessons from the past. *International Journal of Paediatric Otorhinolaryngology*, 11, 213-223.
- RESNICK L.B. (1986). The development of mathematical intuition. In M. Perimutter (Ed.), *Perspective on intellectual : The Minnesota symposium on child psychology*. Hillsdale : Erlbaum.
- ROURKE B.P., FINLAYSON M.A.J. (1978). Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance : Verbal and visuo-spatial abilities. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 6, 121-133.
- SHANNON L. (1978). Spatial strategies in the counting of young children. *Child Development*, 49, 1212-1215.
- SIEGLER R.S., SHRAGER J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction : How do children know what to do ? In C. Sophian (Ed.), *Origins of cognitive skills*. Hillsdale : Erlbaum.
- STARKEY P., SPELKE E.S., GELMAN R. (1991). Toward a comparative psychology of number. *Cognition*, 39, 171-172.
- TOWSE J.N., HITCH G.J. (1997). Integrating information in object counting : a role for a central coordination process ? *Cognitive Development*, 12, 393-422.
- TRICK L.N. (1988). A theory of enumeration that grows out of a general theory of vision : subitizing, counting, and FINSTs. In J.I.D. Campbell (Ed.), *The nature and origins of mathematical skills*. Shannon : Elsevier.
- TRICK L.N., PYLYSHYN Z.W. (1993). What enumeration studies can show us about spatial attention : Evidence for limited capacity preattentive processing. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 19 (2), 331-351.
- TRICK L.N., PYLYSHYN Z.W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101 (1), 80-102.
- VAN OEFFELEN M.P., VOS P.G. (1982). Configurational effect on the enumeration of dots : Counting by groups. *Memory and Cognition*, 10, 396-404.
- VON GLASERFELD E. (1982). Subitizing : The role of figural patterns in the development of numerical concepts. *Archives de Psychologie*, 50, 191-218.
- VOS P.G., VAN OEFFELEN M.P., TIBOSCH H.J., ALLIK J. (1988). Interactions between area and numerosity. *Psychological Research*, 50, 148-154.
- WATTS W.S. (1979). The influence of language on the development of quantitative, spatial and social thinking in deaf children. *American Annals of the Deaf*, 124, 46-56.
- WATTS W.J. (1981). The performance of deaf, partially hearing and normally hearing children on conservation tasks of cardinal number, discontinuous quantity and length. *Journal of the British Association of Teachers of the Deaf*, 5, 11-19.
- WATTS W.J. (1982). The performance of deaf, partially hearing and normally hearing children on conservation tasks of weight and area. *Teacher of the Deaf*, 6, 5-9.
- WOLTERS G., VAN KEMPEN H., WUILHUISEN G. (1987). Quantification of small numbers of dots : Subitizing or pattern recognition. *American Journal of Psychology*, 100, 225-237.
- WOOD D., WOOD H., HOWARTH P. (1983). Mathematical abilities of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology*, 1, 67-73.
- WOOD H.A., WOOD D.J., KINGSMILL M.C., FRENCH J.R.W., HOWARTH S.P. (1984). The mathematical achievements of deaf children from different educational environments. *British Journal of Educational Psychology*, 54, 254-264.
- WYNN K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36, 155-193.