

Faut-il ajouter le calcul aux capacités cognitives précoces du nourrisson, qui se multiplient, ou peut-on se soustraire à cette hypothèse qui divise ?

Roger Lécuyer*

Titre courant : la question du nombre chez le bébé

Parmi les capacités précoces du bébé, mises en avant dans les années 80 figure une première forme d'évaluation de la numérosité, certes sommaire et pour des nombres faibles (3 ou 4), mais en particulier les bébés seraient capables d'apparier des nombres équivalents d'objets visuels et d'objets sonores. Les expériences, maintenant extrêmement célèbres, de Wynn ont relancé ce centre d'intérêt, puisque non contents d'évaluer des quantités, les bébés seraient capables de faire des additions et des soustractions. Pourtant un certain nombre de données, dont certaines obtenues dans notre laboratoire, conduisent à remettre en cause cette interprétation en termes de capacités numériques. En particulier, les capacités des bébés à prendre en compte les quantités d'éléments qui leurs sont présentés ne semblent pas indépendantes de leurs capacités d'organisation perceptive. De même, dans les « opérations », plusieurs expériences indiquent clairement que les bébés semblent plutôt utiliser des indices spatiaux que des indices numériques. Cette question présente un certain intérêt théorique, dans la mesure où elle représente un point crucial dans le débat sur l'origine des connaissances précoces. Le texte qui suit vise donc à un bilan des données actuelles sur ce thème.

Mots-clés : capacités numériques, indices spatiaux, nourrisson

Must calculation be added to the multiplying number of infants' capacities, or can we discard this divisive hypothesis ? During the eighties, one of the early infant capacities that was put forward was a form of numerosity. This capacity was supposed to be basic and to involve small numbers (3 or 4), and infants were thought to be able to match equivalent numbers of visual and auditory objects. Experiments by Wynn, which are now famous, boosted this topic, and infants were not only

* Laboratoire Cognition et Développement Institut de Psychologie Université René Descartes CNRS

71, avenue Edouard Vaillant 92774 Boulogne-Billancourt cedex

mail : roger.lecuver@psycho.univ-paris5.fr

Je remercie Jacqueline Bideaud pour ses commentaires pertinents et ses encouragements à l'écriture de ce texte.

supposed to be able to evaluate quantities, but also to add and to subtract. However, subsequent data, some of which were obtained in our laboratory, called the idea of early numerosity capacity into question. In particular, infants' capacities to take into account the quantities of elements displayed to them do not seem to be independent of their capacities of perceptual organization. In the same way, within the "mathematical operations", several experiments clearly indicate that infants seem to use spatial cues rather than numerical indices. This question is of some theoretical interest, as it is crucial to the debate about early competences. The aim of the present text is to assess the available data about this topic.

Keywords : numerical abilities, spatial clues, infant

INTRODUCTION.

Dans le domaine de la psychologie cognitive du nourrisson, la période récente a été marquée par un débat extrêmement vif portant à la fois sur les capacités cognitives mises en évidence dans diverses expériences, et en particulier dans les expériences de Baillargeon et Spelke, et sur l'existence ou la non-existence de connaissances à la naissance, ou en d'autres termes sur le nativisme opposé à l'empirisme (Baillargeon, 1999; Haith, 1998; Meltzoff & Moore, 1998; Smith, 1999; Spelke, 1998). Les capacités précoces mises en avant par les nativistes, et donc actuellement contestées sont essentiellement liées à la notion d'objet, à la connaissance des propriétés des objets et à leur permanence. Mais d'autres capacités précoces ont également été supposées, et sont donc également contestées, parmi lesquelles figure en bonne place celle du nombre.

Sur la question générale de l'existence ou de la non-existence de capacités à la naissance, et donc d'une détermination génétique de connaissances, le nombre est tout à fait prototypique. Si de réelles capacités numériques peuvent être mises en évidence dès les premiers jours de la vie, les théories nativistes en sont évidemment considérablement renforcées. Mais l'idée de capacités cognitives aussi précoces reçoit trois types de critiques : Pour certains, dont Haith est le meilleur exemple, la critique, systématique, porte sur l'interprétation des données obtenues en particulier dans le paradigme de l'événement impossible (Haith, 1998; Lécuyer, 2001) : ces données seraient sur-interprétées, et il faudrait d'abord rechercher une interprétation en termes de fonctionnement sensoriel. Pour d'autres (en particulier Smith, 1999), les soit disant connaissances innées seraient en fait acquises dans les premiers mois (ou les premiers jours) de la vie, et si des acquisitions peuvent se faire aussi rapidement, il n'y a pas de raison pour que le nombre fasse exception. Enfin un troisième type de critique, que représentent très bien Meltzoff & Moore, porte sur la nature des représentations en jeu. La question est posée par Meltzoff & Moore (1998) en ce qui concerne l'imitation précoce et la permanence de l'objet, mais elle s'applique nécessairement au nombre.

Y a-t-il chez le bébé représentation du « nombre » c'est-à-dire d'une propriété indépendante des objets en cause, ou représentation de la quantité c'est-à-dire d'une propriété de la forme (au sens de la Gestalt) des objets en cause ? Meltzoff & Moore, s'ils ne parlent pas du nombre, distinguent deux types d'identité : une qu'ils appellent qualitative. *Ceci est le même que cela* : ces deux objets sont identiques. L'autre qu'ils qualifient de numérique. *Ceci est le même* : l'objet reste le même dans le temps et l'espace. Cette appellation de « numérique », déjà utilisée par Xu & Carey (1996), appelle évidemment l'attention dans le contexte qui nous occupe. Elle est paradoxale aussi puisque cette identité « numérique » s'applique à un objet unique. Dans les situations dites de « permanence de l'objet », comme dans celles qui portent sur la « numérosité », la question est bien de savoir de quel type de représentation le bébé est capable.

La critique faite aux spécialistes du bébé de sur-interpréter leurs données est ancienne. Dans sa forme la plus récente, cette critique porte essentiellement sur le fait que l'immense majorité des données sur le fonctionnement cognitif des bébés est obtenue à partir d'un seul indice : des différences de durées de fixation. Baillargeon (1999) répond à juste titre à cette critique que si l'on veut contester les données ainsi obtenues, il faudrait aussi mettre en question celles qui sont basées, chez l'adulte, sur les seuls temps de réaction, et il y en a beaucoup. Bien entendu, une critique aussi globale a peu de chances d'être pertinente. Si les différences de durées de fixation sont un indice aussi utilisé, c'est qu'elles sont observées dans la mise en œuvre de méthodes efficaces chez le bébé, efficaces parce qu'écologiques (Lécuyer, 1996).

Pourtant, les spécialistes du bébé, comme les autres, ne sont pas à l'abri d'une sur-interprétation de leurs données. Contrairement à ce que pensent Haith (1998) ou Perruchet & Vinter, (1998), ce n'est sans doute pas le cas pour la permanence de l'objet (Lécuyer, 2001). L'objectif de cet article est ce savoir ce qu'il en est pour le « nombre ». Comme dans le cas de la permanence précoce de l'objet, les enjeux théoriques surdéterminent les débats ce qui nuit quelque peu à la sérénité des débats : si les nouveau-nés possèdent une certaine forme de concept de nombre, alors il y a là un argument très fort en faveur de la théorie nativiste, et si ce « concept de nombre » peut être mis en évidence chez les bébés de quelques mois, il faudrait, pour contester efficacement les théories nativistes, expliquer comment ce concept a été acquis. De manière réciproque, les nativistes doivent tenter de montrer que la capacité numérique est réellement présente à la naissance, ou au minimum que l'apprentissage du nombre est impossible dans les premiers mois de la vie.

Ce qui frappe en effet à la lecture des articles sur les capacités numériques des bébés, c'est que l'idée d'un apprentissage est exclue *a priori*. Par exemple, dans un article où il critique les expériences de

Starkey, Spelke & Gelman, Garnham, (1991) exclut l'idée que les bébés aient pu apprendre à compter dans les six premiers mois de la vie. De même, dans son livre, Dehaene, (1997) écrit : « *Pouvait-on démontrer scientifiquement que même des bébés de moins de un an connaissent déjà certains aspects du concept de nombre, avant qu'ils aient eu l'occasion de les extraire de leurs interactions avec l'environnement ? La réponse est positive.* » (p.54-55, c'est moi qui souligne). Vaste débat, donc et il est sans doute nécessaire de commencer par la description des faits. Ils peuvent être regroupés en deux principaux types. Il y a d'une part les expériences dans lesquelles les bébés se sont montrés capables de différencier deux quantités (faibles évidemment) et d'autre part, les expériences dont les auteurs supposent de réelles capacités numériques, puisque pourraient être en jeu des opérations, telles que l'addition et la soustraction. C'est donc dans cet ordre, qui est aussi l'ordre historique que j'examinerai les données de la littérature avant de faire un bilan des explications proposées.

LA DIFFÉRENCIATION DE DEUX QUANTITÉS.

La première expérience sur la différenciation de deux quantités par des bébés a été publiée en 1980 par Starkey & Cooper. Ces auteurs partent du constat qu'un enfant de deux ans n'a besoin que de 200 millisecondes pour distinguer 3 et 4 points. C'est ce que l'on appelle le phénomène de « subitisation », en anglais *subitizing* qui est très fréquemment invoqué pour rendre compte de la manière dont les bébés évaluent les quantités.

Il faut ici faire une parenthèse sur cette notion de « subitisation » qui est employée dans des contextes et des sens différents par différents auteurs. Fischer (1991) donne une définition claire de la subitisation : « *Le subitizing est une appréhension quasi-instantanée du nombre... [il] doit conduire à un jugement absolu du nombre... [et il y a] nécessité d'une dénomination verbale, orale et usuelle du nombre* ». Fischer oppose la subitisation au comptage : « *Pour compter (correctement) une collection, un enfant devra, de manière coordonnée, prendre en compte chaque objet une et une seule fois, utiliser une suite stable, et savoir que le dernier mot nombre utilisé lors du comptage désigne le cardinal de la collection toute entière* ».

On voit immédiatement se présenter deux difficultés. La première porte sur les représentations en jeu : celle qui est nécessaire pour rendre compte de la subitisation est plus simple et de nature différente de celle qui est nécessaire pour rendre compte du comptage qui comporte trois critères. La seconde difficulté est de nature méthodologique, mais rejaillit immédiatement sur les concepts employés. Dans les expériences qui sont faites chez l'adulte ou l'enfant en âge d'exprimer verbalement un nombre, il y a une différence opérationnelle simple entre subitisation et comptage : quand les temps de présentation sont trop courts pour que le comptage soit possible, on parle de subitisation. Ce critère n'est pas

possible chez le bébé pour qui on utilise des durées de présentation très longues, et qui sont donc compatibles avec un comptage. De plus, la condition de dénomination verbale ne peut évidemment être remplie et c'est donc nécessairement par abus de langage que certains auteurs parlent de subitisation chez les bébés. Il ne s'agit pas seulement d'une question de vocabulaire : si on ne peut pas parler de subitisation et si le comptage apparaît comme une hypothèse très (et peut-être trop) forte, le mécanisme d'évaluation utilisé par les bébés est donc des plus hypothétiques.

Pourquoi certains auteurs parlent-ils néanmoins de subitisation ? Essentiellement pour deux raisons : la première est qu'il semble à certains plus économique de faire cette hypothèse que celle du comptage, le mécanisme semblant plus « primitif », la deuxième étant que les capacités numériques des bébés sont limitées, comme les capacités ultérieures de subitisation, vers 3 ou 4. Fischer (1991) insiste beaucoup sur ce point et présente des courbes très convaincantes. « *Pour l'appréhension de 3, nous pensons que les enfants, en tous cas ceux de 5 ou 6 ans ont formé une unité perceptivo-cognitive qui leur permet de savoir qu'il y a « 3 » sans compter, ni non plus passer explicitement par une reconnaissance de forme de type triangle à 3. Cette unité formant un tout, un paquet non analysé* ». Pour Fischer, la subitisation est une connaissance déclarative, le comptage est une connaissance procédurale. L'un des objets du débat va donc être de savoir si la subitisation est possible avant le comptage ou non.

Si nous en revenons à Starkey & Cooper, ils ont présenté à des bébés de 16 à 30 semaines (âge moyen 22 semaines) des stimuli composés de 2, 3, 4 ou 6 points, en habituation, et en test, un nombre différent. Les bébés habitués à 2 ou 3 points avaient en test 3 ou 2 points, et les bébés habitués à 4 ou 6 avaient 6 ou 4 points.

Starkey & Cooper prenaient une précaution très importante : les stimuli d'habituation étaient présentés en alternance avec deux écartements différents, si bien que le stimulus test avait la même longueur que l'un des stimuli d'habituation et la même densité que l'autre.

Les résultats montrent que les bébés font bien la différence entre 2 et 3 points, mais pas entre 4 et 6 points. La même recherche est reprise en 1983 par Antell & Keating, cette fois avec des nouveau-nés âgés en moyenne de 53 heures. Les résultats sont en gros les mêmes. La présence de cette capacité de discrimination dans les heures qui suivent la naissance est évidemment très importante, puisqu'elle va dans le sens nativiste. Le titre des deux articles est de ce point de vue intéressant : *la perception du nombre par les bébés pour les premiers, la perception de l'invariance numérique par les nouveau-nés* pour les seconds. Le mot perception figure dans les deux cas, le mot nombre également ; de ces deux recherches

s'instaure un débat pour savoir s'il s'agit d'un fonctionnement perceptif ou cognitif.

Strauss & Curtiss (1981) se posent cette question, et essaient de tester l'effet de l'hétérogénéité des stimuli sur les capacités d'évaluation : si le processus est plutôt perceptif, l'hétérogénéité est une source de distraction et donc d'échec, si le processus est plutôt cognitif, l'hétérogénéité aide à saisir l'invariant, en l'occurrence, le nombre. Ils présentent des photographies et des dessins d'animaux dont ils varient plus ou moins la taille et la disposition, à des enfants de 10 à 12 mois. L'habituation est faite avec un nombre N , et le test avec $N+1$ ou $N-1$. Les résultats sont ambigus : les bébés font la différence entre 2 et 3, ils ne font jamais la différence entre 4 et 5, et les filles ne font la différence entre 3 et 4 que si les stimuli sont homogènes, alors que les garçons ne la font que si la série est hétérogène. Ce qui est perceptif pour les filles serait donc cognitif pour les garçons, on voit tout de suite que les implications de cette remarque sont nombreuses... Strauss & Curtiss concluent que si l'on veut être sûr qu'il s'agit d'un phénomène cognitif, il faudrait introduire encore plus de variété, changer de modalité sensorielle par exemple.

L'un des aspects les plus étonnants de ces résultats est qu'il semble y avoir absence totale de progrès entre la naissance et la fin de la première année. Cette stagnation étonne Treiber & Wilcox (1984) qui l'attribuent à la complexité du matériel. Ils testent donc la capacité de bébés de 16 semaines à différencier des ensembles de 4 et 5 éléments en prenant des points, comme Starkey & Cooper, et en variant les dispositions spatiales, comme Strauss & Curtiss. De plus, au lieu d'utiliser la procédure d'habituation classique, contrôlée par l'enfant, ils limitent les essais à 10 secondes. Ils montrent ainsi que les bébés habitués à 4 points réagissent à la nouveauté pour 5 et réciproquement.

La question que l'on peut se poser alors est celle de l'importance de la structuration spatiale des éléments. Quatre éléments forment un quadrilatère, alors que cinq forment un pentagone, trois forment un triangle, ce qui fournit une base simple de différenciation. Quel est le poids de ce facteur ? Les données sur ce point sont contradictoires. Dans une série d'expériences que nous avons faites, en particulier avec Christine Poirier (Lécuyer & Poirier, 1994; Poirier, Lécuyer et Cybula, 2000), la question posée n'était pas celle du nombre, mais de la capacité de catégorisation chez le bébé, et un moyen simple de faire varier les figures en maintenant constante une dimension était d'utiliser comme invariant le nombre d'éléments (dans d'autres expériences de catégorisation, des invariants très différents ont été utilisés, avec le même type de résultats).

Nous avons ainsi montré que les bébés de 5 mois et ceux de 3 mois pouvaient détecter cet invariant, pour des figures à 3 et 4 éléments, mais cette détection n'a pas été principalement interprétée en termes de nombre, parce que le nombre peut difficilement être

changé sans changer la configuration même si à chaque essai d'habituation (et donc à nombre constant) les configurations variaient. En particulier, dans une de nos expériences sur les bébés de 5 mois, nous avons constaté un effet d'ordre très intéressant : les bébés étaient habitués à des figures composées de 4 cercles. L'ordre de présentation variait selon les bébés, et dans l'un des ordres, il n'y avait pas de réaction à la nouveauté en test pour la figure à trois éléments. Cet effet a été attribué à la dernière figure d'habituation qui avait une forme presque triangulaire. L'expérience a été refaite en écartant les deux éléments très proches, ce qui donne à la figure l'aspect très net d'un trapèze. Cette fois, il y avait réaction à la nouveauté en test, dès trois mois. On voit donc bien dans cet exemple qu'il a un effet de la configuration.

Pourtant, Loosbroek et Smitsman (1990) ont obtenu des résultats qui vont en sens inverse : les bébés pourraient percevoir le nombre indépendamment de la configuration. L'idée très intéressante qu'ils ont eu a consisté à présenter des rectangles en mouvement. Les bébés sont vus en longitudinal à 5, 8 et 13 mois. Ils sont habitués à 2, 3 ou 4 rectangles dont on varie au hasard la trajectoire et la densité de points (donc la luminosité). En test, on augmente ou on diminue d'un le nombre de rectangles. Aux trois âges, les bébés perçoivent cette différence, mais les résultats sont plus clairs à 8 mois qu'aux autres âges. Les auteurs ont pris soin d'égaliser le nombre de superpositions entre les rectangles en mouvement (qui sont évidemment plus probables quand le nombre d'éléments augmente) pour que les bébés ne se repèrent pas sur cet indice. Le fait que les figures bougent rend peu probable un mécanisme de comptage.

Le mouvement élimine-t-il tous les effets possibles de configuration ? On peut aussi envisager que dans le matériel de Loosbroek & Smitsman, les sujets perçoivent des configurations globales (ligne, triangle, quadrilatère) qui se déforment. Aussi avons nous pris le même problème à l'envers, dans une série d'expériences réalisées avec Katia Rovira (Lécuyer & Rovira, 1999; Rovira & Lécuyer soumis). Le raisonnement à la base de ces expériences est le suivant : si l'évaluation du nombre et la détection de la différence entre deux nombres fonctionnent indépendamment de l'organisation perceptive des éléments à dénombrer, et si cette capacité est limitée à 3 ou 4, alors les bébés ne peuvent en aucun cas faire la différence entre 7 et 8. Par contre, si l'organisation perceptive joue un rôle, une telle différenciation est possible et d'autant plus aisée que la configuration est forte (au sens de la Gestalt). Nous avons donc construit des figures à huit éléments à partir d'un cercle initial, en déplaçant vers l'intérieur ou l'extérieur un nombre plus ou moins grand d'éléments. Nous avons ainsi obtenu deux configurations de base : une très structurée, une peu structurée.

Deux groupes de bébés de 4 mois ont été habitués soit à l'une soit à l'autre, puis en test la même figure, mais avec un élément

manquant leur a été présentée. Les bébés de chaque groupe étaient divisés en deux : soit l'élément enlevé avait été jugé par des adultes comme changeant peu la configuration, soit il avait été jugé comme changeant beaucoup la configuration. Les résultats ont montré que les bébés percevaient cette diminution d'un élément dans tous les cas. Les mêmes figures ont été montrées à des adultes et on a mesuré leurs temps de réaction pour indiquer si la figure présentée était identique à la figure de base ou différente. La hiérarchie des temps de réaction des adultes correspond à la hiérarchie des capacités de discrimination des bébés.

La configuration peut donc jouer un rôle décisif dans la différenciation de deux quantités, et ce qui est vrai pour des grands nombres (7 et 8) doit l'être a fortiori pour des petits nombres : le changement apporté par l'ajout ou la suppression d'un élément est d'autant plus grand que le nombre d'éléments est petit. Il est d'ailleurs possible d'imaginer que la limite de 3 ou 4 éléments obtenue classiquement n'est pas une limite liée au nombre, mais à la complexité de la configuration, et à la faiblesse croissante des différences de configuration : passer de 50 à 49 éléments a fort peu de chances de changer la configuration.

A partir de ces figures de base, on a ensuite tenté d'obtenir une catégorisation, en leur faisant subir un mouvement de rotation et en présentant successivement, au hasard, des dispositions diverses. En test, étaient présentées en alternance une disposition de la figure jamais vue auparavant et une nouvelle figure constituée par une forme déjà vue, mais à laquelle il manque un élément. Avec des bébés de quatre mois, les résultats ont été complètement négatifs. Les figures étaient trop compliquées pour que les bébés puissent catégoriser. Un problème important est donc de séparer les questions de nombre des questions de configuration. Pour cela, plusieurs idées ont été avancées.

Une idée intéressante, déjà suggérée par Strauss & Curtiss, a été exploitée dans une série d'expériences de Starkey, Spelke & Gelman. (1983, 1990, 1991). Dans ces expériences, on présente aux bébés, âgés de 7 mois, deux séries de diapositives dans lesquelles il y a d'un côté la photographie de deux objets et de l'autre la photographie de trois objets. D'une diapositive à l'autre, les objets changent, leur disposition également et il y a une présentation au hasard à droite ou à gauche des 2 ou des 3 éléments. Chaque diapositive est présentée 10 secondes, et en même temps on présente soit deux soit trois battements de tambour.

Pendant la première série, les bébés ont plutôt tendance à regarder du côté des trois éléments que du côté des deux, mais pendant la deuxième série, ils regardent plus du côté correspondant au nombre de battements de tambour. Ceci est vrai si on égalise la durée totale de présentation des battements ou si on égalise le rythme de présentation de ces battements.

Comme le font remarquer les auteurs, il existe une différence fondamentale entre le visuel et l'auditif : le premier est spatial et le second est temporel, si bien que le nombre a de fortes chances d'être la seule dimension commune aux deux types de stimulations présentées. Pour elles la subitisation ne peut s'appliquer aux événements sonores. Il faut cependant remarquer qu'une série de trois sons n'est pas seulement une série de trois sons mais un tempo, c'est à dire une organisation perceptive, au même titre qu'une figure géométrique. Pourrait-il y avoir homothétie entre une organisation spatiale et une organisation temporelle ? Là encore, on ne voit pas pourquoi cette mise en relation serait moins probable que celle des nombres en jeu. Par ailleurs, les données des auteurs ne sont retrouvées ni par Moore, Benenson, Reznick, & Peterson, (1987), ni par Mix, Cohen Levine & Huttenlocher (1997).

Un peu dans le même esprit, mais uniquement dans la modalité visuelle, Canfield & Smith, (1996) présentent à des bébés de cinq mois en alternance des figures à droite et à gauche, suivant des séquences régulières : 2 à droite avant une à gauche dans la première expérience, 3 à droite avant une à gauche dans la seconde. La variable observée n'est pas la durée de fixation mais la direction du regard, et les auteurs montrent ainsi que les bébés anticipent le changement de côté. Si le nombre de présentations est aléatoire, il n'y a évidemment pas d'anticipation. De même, Wynn, (1996) montre que des bébés de 5 mois différencient visuellement une séquence de trois actions d'une séquence de deux actions.

Une autre question importante est la distinction entre nombre et surface. Dans la plupart des expériences, quand on passe de 2 à 3 ou de 4 à 3 éléments, on augmente ou on diminue la surface totale ainsi présentée. Les différenciations opérées par les bébés ne seraient-elles pas basées sur ces surfaces ? Les données sur cette question sont contradictoires : Dans une expérience de, Poirier, Lécuyer et Cybula (2000), on habitait les bébés, âgés de 3 mois, à des figures à 3 éléments, et on leur présentait en test une nouvelle figure à 3 éléments ou une figure à 4 éléments. A chaque essai, on variait non seulement la disposition des éléments, mais aussi leur taille, tirée au sort de telle manière que la plus petite somme des surfaces de 4 éléments était inférieure à la plus grande somme des surfaces de 3 éléments. Les bébés ont néanmoins fait la différence entre 3 et 4 éléments. Dans une autre expérience, les bébés étaient habitués à 4 éléments et testés sur 3, mais cette fois, la surface totale était toujours la même, quel que soit le nombre d'éléments. Là encore, les bébés ont fait la différence entre 4 et 3 éléments. La surface ne semble donc pas avoir d'effet dans ces expériences de discrimination de deux quantités.

Pourtant, Feigenson et Spelke (1998) ont trouvé des résultats qui vont en sens inverse. Elles habituent un groupe de bébés de 7 mois à un gros objet en « Lego », dont la forme et la couleur sont changés à

chaque essai et présentent en test soit 1 (nombre constant) soit 2 (masse constante) petits objets. Dans un autre groupe, les bébés sont habitués avec 2 petits objets et testés avec un gros (masse constante) ou 2 gros (nombre constant). Dans tous les cas, les bébés ont une réaction à la nouveauté. Ils sont donc sensibles à la quantité et à la masse, mais l'effet de la masse est plus important que celui de la quantité. Cette recherche semble bien résumer l'ensemble des données obtenues en partant de cette problématique de la comparaison des quantités : dans un grand nombre de circonstances, des bébés de quelques mois, voire des nouveau-nés, se sont révélés capables de différencier des objets présentés en quantités différentes, mais cette capacité de différenciation n'est jamais clairement séparée d'aspects non numériques : configuration ou masse par exemple.

De même, Wechsler Clearfield & Mix (1999) notent que le taux de contour d'une figure est généralement corrélé au nombre d'éléments, et que dans la plupart des expériences, ces deux facteurs sont confondus. Elles séparent donc les deux variables et habituent des bébés à des carrés noirs dont le nombre et la surface varient. Elles constatent que les bébés de 6 à 8 mois ont une réaction à la nouveauté lors d'un changement du taux de contour, alors qu'ils ne l'ont pas lors d'un changement du nombre.

LES « OPÉRATIONS ».

Le problème du nombre chez le bébé a été relancé de manière spectaculaire par les expériences de Wynn (1992). Cette fois, il ne s'agissait plus apparemment de « subitisation » et de différenciation globale de deux quantités, mais d'opérations sur des nombres : addition et soustraction.

Rappelons les faits présentés par Wynn : on montre à un bébé une plate forme où se trouve un mickey. On lève un écran devant la plate forme, qui cache le mickey, et on fait entrer un second mickey par le côté de l'écran. On baisse ensuite l'écran, et l'enfant voit soit deux mickeys, soit un. Les bébés regardent plus longtemps la situation où il n'y en a qu'un, ce qui montre qu'elle les étonne. Il en est de même si il y a trois mickeys au lieu de deux. Dans l'expérience de soustraction, on part de deux mickeys, on lève l'écran, on en sort un et quand on baisse de nouveau l'écran, il y en a un ou deux. Les bébés regardent plus longtemps quand il reste deux mickeys. Wynn en conclut que les bébés font une addition ou une soustraction.

L'expérience a été répétée par Simon, Hespos et Rochat (1995). Ils ont retrouvé les mêmes résultats, avec en plus un résultat curieux : si l'un des objets qui apparaissent quand on abaisse l'écran n'est pas celui qui avait été caché, les bébés ne sont pas étonnés. Les auteurs interprètent ce résultat comme étant dû au fait que les bébés, se centrant sur la tâche « où », ne prennent pas les indices nécessaires à la tâche « quoi ».

Si le nombre d'objets cachés derrière un écran est une propriété qui intéresse plus les bébés que l'identité de chacun de ces objets, on est évidemment en présence d'une propriété fondamentale. En fait, il n'est pas certain qu'il s'agisse d'une relation nombre - identité : d'autres expériences effectuées avec des objets cachés montrent que des problèmes d'identité peuvent alors se poser. Le problème avait déjà été découvert par Bower il y a bien longtemps. L'interprétation de Simon et al est aussi intéressante que leurs données. L'intérêt pour « où » semble en effet moins compatible avec l'intérêt pour « combien » que l'intérêt pour « quoi ». De plus le « où » fait référence à un seul élément : le dernier arrivé. Détecter sa présence ou son absence suffit à résoudre le problème posé par Wynn aux bébés.

Une autre réplique de cette expérience a été faite par, Uller, Carey, Huntley-Fenner & Klatt (1999), avec deux variantes très intéressantes. Dans la première condition expérimentale, les auteurs reproduisent, avec un objet différent, les conditions de Wynn, et ils trouvent les mêmes résultats.

Dans la seconde expérience, ils remontent l'écran *avant* de cacher le premier objet. Les deux objets sont donc cachés successivement, comme dans la première expérience, mais sans que le bébé ait pu en voir un en place sur la plate forme. Dans ces conditions, les bébés échouent à l'addition et regardent autant la situation avec un seul objet que la situation avec deux objets. Enfin, dans la troisième expérience, ils placent côte à côte deux écrans, et répètent les conditions de la seconde expérience. Cette fois les bébés réussissent et sont étonnés s'il n'y a pas un objet derrière chaque écran, ce qui n'est évidemment pas la même chose que deux objets derrière un écran : l'addition n'est en aucun cas nécessaire.

La même expérience a été utilisée par Uller (1998) avec une méthode légèrement différente : il n'y a pas de familiarisation, mais la simple présentation des événements. Les résultats obtenus sont les mêmes. En 1998 également, Wynn & Chiang ont présenté une recherche qui selon elles porte sur la dissymétrie entre la disparition magique d'un objet qui intrigue les bébés de 8 mois, et son apparition magique, qui ne les dérange pas. En fait, l'expérience d'apparition magique ressemble fort à celle de « soustraction » de 1992. La différence est qu'il y a 2 écrans. Dans ces conditions, les bébés ne semblent pas étonnés que $2-1=2$! Le résultat est d'autant plus étonnant que la condition semble plus facile (2 écrans) et que les bébés sont plus âgés. Les mêmes auteurs répliquent avec une situation plus simple : $1-1=1$, et trouvent les mêmes résultats : les bébés ne sont pas non plus étonnés. Wynn & Chiang ont à cela une explication : les bébés ont des capacités numériques qui n'incluent pas le zéro.

Koehlin, Dehaene, & Mehler, (1997) ont eux aussi l'idée d'introduire le mouvement pour éviter de fournir aux bébés trop de

repères spatiaux. Ils comparent donc des situations de type addition ($1+1=2$ ou 1) et soustraction ($2-1=2$ ou 1) soit en reproduisant les conditions de Wynn (stimuli fixes) soit en faisant tourner les objets sur un plateau. Dans ces deux conditions, les bébés regardent plus longtemps les situations $2-1=2$ que $2-1=1$, mais il n'y a pas de différences de durée de regard dans le cas de l'addition.

Dans un article récent, Wakeley, Riviera, & Langer, (2000a) reprennent les expériences de Wynn en faisant une distinction a priori entre opérations « imprécises » et « précises » : dans les opérations imprécises, le résultat correct va dans le sens de l'opération ($1+1=2$ plutôt que 1 signifie simplement que $1+1>1$) alors que dans le cas des opérations précises, le résultat correct est un nombre précis ($1+1=2$ et non 3 ne se réduit pas à $1+1>1$). Ils ne retrouvent les résultats de Wynn ni dans le premier cas, ni dans le second, l'opération précise qu'ils utilisent étant $3-1=2$ (ou 3). Wynn, (2000) répond aux auteurs que ses résultats sont robustes et ont été reproduits dans 8 expériences impliquant 4 laboratoires différents du sien, mais également que les cas de non-réplication observés dans différents laboratoires sont eux-mêmes cohérents et explicables soit par le fait que les nombres en jeu étaient trop importants, soit que l'on a demandé aux bébés deux « mises à jour » successives, soit enfin que l'opération ait impliqué un zéro, ce qui la conduit à conclure à la cohérence et à la reproductibilité des résultats. La réponse de Wakeley, Riviera, & Langer (2000b) à cette réponse consiste à dresser un bilan des cas de réplication et de non-réplication. Dans la deuxième catégorie, ils recensent Wynn, 1992 (expérience 1 sur l'addition), (Koechlin et al., 1997) (addition), (Uller, Carey, Huntley Fenner, & Klatt, 1999) (addition avec écran levé) et (Wakeley et al., 2000a) (addition et soustraction) ce qui les incite à conclure à l'inconsistance des résultats...

Enfin, dans la recherche de Feigenson & Spelke (1998), il y a aussi une condition « addition ». Pour un groupe de bébés, on présente avec la procédure de Wynn : 1 petit objet + 1 petit objet et le résultat est 1 gros (mauvais nombre, mais bonne masse) ou 2 gros (bon nombre mais mauvaise masse). Pour l'autre groupe, on présente 2 gros - 1 gros et le résultat est 1 petit (bon nombre, mauvaise masse) ou 2 petits (mauvais nombre, bonne masse). Comme dans leurs expériences de différenciation des quantités, les bébés sont plus sensibles au changement de masse qu'au changement de nombre, ce qui doit évidemment être pris en compte dans les interprétations proposées.

Dans une communication récente, Leslie (1999) fait état de plusieurs recherches avec des bébés de 11-12 mois dans lesquelles la technique est un peu différente : N objets sont présentés à l'enfant, on place un écran devant et une main en sort un ou passe simplement derrière l'écran et ressort vide. Quand on abaisse l'écran, il y a toujours N objets. Si $N=2$, les bébés regardent plus longtemps la situation impossible que la situation possible, mais il n'y a pas de

différences dans les durées de fixation si $N=3$. L'intérêt de cette procédure est que le nombre d'objets présentés en test est toujours le même, et donc que les résultats ne sont pas interprétables en termes de préférence pour un nombre particulier. Dans une autre expérience, les bébés sont familiarisés à trois jouets : deux grenouilles et un poisson qui sont plusieurs fois de suite placés derrière un écran et ressortis de cet écran. Ensuite on abaisse l'écran pour faire apparaître deux grenouilles et un poisson (situation normale) ou bien une grenouille et deux poissons (situation anormale). Il n'y a pas de différence dans les durées de fixation. Leslie en tire deux conclusions. La première est que l'ensemble de ces données est plus interprétable en termes de repérage d'objets que de dénombrement, la seconde est qu'il ne faut pas en conclure pour autant que les capacités numériques n'existent pas : les bébés peuvent aussi ne pas se servir spontanément d'une capacité que pourtant ils possèdent...

Ajoutons que le même type d'expérience fait avec des enfants plus âgés donne des résultats qui ne vont pas dans le sens d'une capacité précoce sauf, comme le fait Houdé (1997), à chercher des explications à une baisse de la performance vers deux ans. Utilisant le même paradigme que Wynn (1992), Houdé (1997) ne retrouve pas les mêmes résultats à deux ans, mais seulement à trois ans. Starkey (1992) avait déjà obtenu des résultats similaires dans une tâche matériellement très différente, mais cognitivement semblable : on demande à des enfants de placer des objets dans une boîte fermée, puis on en ajoute ou en enlève sous leurs yeux et en attirant leur attention sur cette action. On leur demande alors de retirer un à un les objets de la boîte et on compte le nombre de recherches pour savoir s'il correspond au nombre d'objets. A 18 mois, la réussite n'est pas supérieure au hasard, et si elle le devient à 24 mois, les performances chutent dès que le total dépasse 3, et ceci jusqu'à 48 mois.

Une conclusion provisoire que l'on peut dès à présent tirer de ces recherches sur les opérations est donc que les données sont fragiles et soumises aux aléas des conditions de présentation. Par ailleurs, les âges utilisés ne sont pas toujours les mêmes, et il n'est pas rare que les bébés plus jeunes réussissent aussi bien ou mieux que les plus âgés, ce qui est évidemment intrigant.

LES INTERPRÉTATIONS

Comme l'explique très bien Jacqueline Bideaud, dans l'introduction des *Chemins du nombre*, édité en 1991 par Bideaud, Meljac et Fischer, à l'occasion des cinquante ans de *La genèse du nombre*, le sujet a été marqué pendant des années par les travaux de Piaget et Szeminska (1941). Mais Piaget et Szeminska ont négligé les petits nombres, parce qu'ils étaient « intuitifs », pour s'intéresser en quelque sorte aux vrais nombres. Il fallait éviter de confondre quantité et nombre.

La conséquence de cette position est fascinante : on peut dire à la fois que Piaget & Szeminska sont des précurseurs de tout le courant qui fait de la capacité d'évaluation des petits nombres un mécanisme de « subitisation » et aussi que, en ne s'intéressant pas aux petits nombres, ils n'ont pas étudié la question des débuts de l'évaluation des quantités. En d'autres termes, c'est peut-être parce qu'ils avaient raison qu'ils sont passés à côté d'une forme primitive de traitement des quantités qui a ensuite occupé bon nombre d'auteurs.

Après Piaget & Szeminska, le débat théorique est relancé par la parution en 1978 de l'ouvrage de Gelman & Gallistel : *The child understanding of number*. Pour ces auteurs, il n'existe qu'un seul mécanisme fondamental de traitement du nombre : le comptage. Dès les premières manifestations d'évaluation de la numérosité, les bébés comptent. Le mécanisme de subitisation ne pourra se mettre en place que plus tard, quand le comptage sera automatisé. Gelman & Gallistel (1978) ont proposé le concept de numéron : représentation interne de la numérosité (ce qui est représenté), idée reprise par (Wynn, 1995).

A partir de là, une grande partie du débat théorique va tourner autour de la subitisation. Il y a les pour, comme Fischer (1991) ou Dehaene (1997), et les contre comme Gelman & Meck (1991).

Dans *les chemins du nombre*, il y a deux articles sur les bébés : celui de Fischer qui insiste sur la rupture entre 3 et 4 dans les niveaux de réussite et qui donc défend l'idée de subitisation, et celui de Gelman & Meck qui ne sont pas convaincus par l'idée de subitisation. « *L'hypothèse selon laquelle le processus de « subitisation » ressemble aux processus sous-jacents à la perception des objets, ne peut expliquer la raison pour laquelle la compréhension de « un » est toujours atteinte avant celle de « deux » et celle de « deux » avant celle de « trois ».* » (P. 215).

La subitisation ne peut pas rendre compte des évaluations des jeunes enfants, donc ils comptent. Évidemment, Gelman & Meck (1991) n'évoquent pas la discontinuité entre 3 et 4, sur laquelle insiste Fischer (1991) ce qui facilite l'idée d'un processus de comptage simple.

La position de Wynn est en gros la même : Les bébés de 5 mois ont accès à « *l'ordination et les relations numériques entre petits nombres* » et la capacité de « *manipuler ces concepts d'une manière signifiante du point de vue numérique* » (P. 750).

Dans deux articles récents, un paru dans les Cahiers de Psychologie Cognitive en réponse à Frydman (1995), et un paru dans le Bulletin de Psychologie en hommage à Pierre Oléron, Jacqueline Bideaud (1995, 1997) critique fortement l'interprétation que donne Wynn de ses expériences : « *En serrant les faits au plus près, il semble que l'on puisse seulement dire que, pour le moins, le bébé de 4-5 mois... est capable de différencier des collections numériques faibles, spatialement et temporellement brièvement séparées, et, pour*

le plus, *que le bébé est capable... d'effectuer perceptivement une correspondance terme à terme entre ce qui a d'abord été présenté et ce qui apparaît ensuite* (un objet, un autre objet et seulement ces deux objets)... *Ce qui est inné, ce ne sont pas les principes de Gelman, mais les capacités perceptives concernant les petites numérosités (de 1 à 3).*

Un point me semble important dans la position de Bideaud : dans la plupart des expériences sur les différenciations de petites quantités, les auteurs interprètent ces capacités de discrimination comme des capacités d'évaluation du nombre, mais ce n'est pas parce que l'on sait faire la différence entre 2 et 3 que l'on sait évaluer 2 ou 3, encore moins que l'on sait que 3 est plus grand que 2. Comme Bideaud, Dehaene fait l'hypothèse que cette capacité de discrimination est innée. Il est de fait qu'elle a été mise en évidence chez des bébés de 3 jours.

La question me semble être de savoir si à 3 jours, cette capacité est abstraite, c'est-à-dire indépendante du quelque chose dont il y a 2 ou 3, et porte donc sur le nombre, ou bien si elle est concrète, ou plutôt moins abstraite et porte sur la quantité. Nos données expérimentales, et celles de Feigenson & Spelke (1998) vont plutôt dans le sens de la deuxième hypothèse.

Si l'on revient sur l'expérience de Carey et al (1994) et sur l'interprétation qu'ils en donnent. Ces auteurs opposent trois modèles théoriques pour rendre compte des résultats de Wynn : le modèle des numérons de Gelman & Gallistel, le modèle de l'accumulateur défendu par Wynn, mais aussi semble-t-il par Dehaene, et le modèle du raisonnement physique défendu par Carey et auquel je me rallierais volontiers. D'après le premier modèle, dans l'expérience de Wynn, les bébés procéderaient à une addition : $1+1=2$ et confronteraient nombres et numérons. L'échec des bébés dans la situation « écran en premier » met en échec cette interprétation : le comptage aurait dû fonctionner quel que soit l'ordre des événements.

Dans le modèle de l'accumulateur, le nombre est représenté par l'état d'un « accumulateur » analogique. Le modèle incorpore un générateur d'impulsions qui fournit de l'énergie à l'accumulateur. Quelque chose est compté quand une quantité fixe d'énergie est ajoutée à l'accumulateur. L'énergie est ajoutée à l'accumulateur quand une porte d'entrée est ouverte, ce qui serait déterminé par des conditions particulières d'environnement. Là encore, l'accumulation devrait se produire indépendamment du moment où l'écran est levé, et cette interprétation résiste mal aux données de Carey et al.

D'après le modèle du raisonnement physique, l'expérience de Wynn ne met pas en jeu des capacités numériques, mais un raisonnement sur les objets disparus. Ayant vu un objet avant la levée de l'écran, et ayant vu entrer un autre objet, le bébé procède à une remise à jour de ce qui se trouve derrière l'écran, et il sait

procéder à cette remise à jour : il attend un *objet* et un autre *objet*. Dans la condition écran en premier, il doit procéder à deux remises à jour, ce qui est beaucoup plus difficile qu'une, et il échoue. En d'autres termes, les quantités ne sont jamais indépendantes des objets. Le nombre n'est donc pas indépendant de l'activité perceptive. C'est ce que nous avons trouvé dans les situations de différenciation de nombres. C'est aussi la position de Simon (1997). Il ne s'agirait donc pas de comptage, mais peut-être d'un préliminaire de l'un des préliminaires du comptage : la correspondance terme à terme (Reeves & MacFerran, 1999). Avant de faire cette correspondance entre une série concrète d'objets et une série homologues d'objets abstraits (des nombres), il est nécessaire de faire simplement la première série.

Si ce type d'interprétation est exact, c'est bien plus tard qu'émergera le nombre, comme le pensent par exemple Huttenlocher, Jordan & Cohen Levine (1994); ou Stern (1999).

EN CONCLUSION

La question du nombre me semble présenter un intérêt théorique majeur en ceci qu'elle permet de progresser dans l'opposition nativisme/empirisme. En même temps, l'opposition entre capacité de comptage précoce et subitisation semble conduire à mal poser le problème. L'hypothèse du comptage chez les bébés de 3 mois ou les nouveau-nés ne semble ni démontrée ni nécessaire. Le concept de subitisation doit être réservé aux situations où le sujet n'a pas le temps de compter et donne une réponse verbale. Il reste donc d'une part une capacité précoce à distinguer deux quantités de quelque chose, capacité fortement sensible aux conditions de présentation et au matériel présenté, et d'autre part une capacité à tenir compte de changements intervenus dans un endroit inaccessible à la perception. Il est donc clair que les expériences dites d'addition et de soustraction impliquent une forme de permanence de l'objet. Dans les deux cas donc, des représentations sont en jeu. Starkey (1992) fait référence à des formes de représentation analogiques avec correspondance terme à terme entre objets et représentations. Précisément, puisqu'il est clair que parler de numérosité chez les bébés de 5 mois est abusif, mieux comprendre les capacités en jeu passe sans doute par une comparaison entre les capacités de représentation nécessaires pour résoudre les problèmes posés aux bébés dans les deux types de situations que nous avons envisagées, et les capacités de représentations supposées (et tout aussi discutées) par ailleurs. Durand, Lécuyer & Frichtel (soumis) proposent de distinguer trois niveaux de représentation :

La représentation *concrète* ou *analogique* : une représentation est une copie transcodée d'un stimulus. Si le même stimulus est présenté de nouveau il est reconnu. Si un autre stimulus est présenté, il est différencié. Ce niveau est nécessaire pour rendre compte de l'habituation, présente dès avant la naissance.

La représentation *abstraite* : une représentation peut inclure des variations dans le stimulus, si une propriété commune est détectée. Quand un nouveau stimulus est présenté, ses propriétés sont mises en relation avec la représentation. Quand l'information fournie est partielle, la représentation peut être reconstruite. Un objet disparu est représenté comme tel. Quand un objet disparaît, certaines de ses propriétés peuvent être prises en compte. Ce niveau est nécessaire pour rendre compte des capacités de catégorisation, des capacités de représentation du tri-dimensionnel dans une image bi-dimensionnelle et des capacités mises en jeu dans les expériences de « permanence de l'objet », toutes présentes dès trois mois.

La représentation symbolique : la relation entre l'objet représenté et l'entité qui le représente est arbitraire. C'est la représentation en jeu dans le langage.

Comment situer dans ces systèmes les capacités mises en évidence et parfois regroupées sous le concept de numérosité ? En fait, différentes activités relèvent de chacun de ces niveaux : la différenciation de deux quantités telle qu'elle est mise en évidence par exemple par Starkey & Cooper (1980) relève du premier niveau, les « opérations » de Wynn relèvent du second, et le véritable comptage ou la subitisation du troisième. Concernant le premier niveau, les expériences sur l'habituation / réaction à la nouveauté pourraient conduire à le concevoir de manière très figée et analogique, mais le fait que Antell & Keating (1983) mettent en évidence chez des nouveau-nés une forme rudimentaire d'abstraction d'une propriété des stimuli présentés conduit à voir ce premier niveau comme plus souple : la détection d'un invariant est déjà possible.

Au second niveau, il est remarquable que tant qu'on en reste dans le cadre d'une activité cognitive précise : la permanence de l'objet, la prise en compte des lois physiques, ou l'utilisation d'une caractéristique du stimulus comme la quantité d'éléments qui le composent, la notion de représentation, ou le niveau de représentation nécessaire pour rendre compte de ces activités sont contestés et des principes d'explication partant de mécanismes plus élémentaires sont proposés. Parfois même, c'est un paradigme expérimental précis qui est contesté (Haith, 1998; Cashon & Cohen (2000). Pourtant, si l'on confronte différentes aptitudes on est bien obligé de constater que les bébés de quelques mois sont à la fois capables de tenir compte de propriétés d'objets *absents* et de propriétés *absentes* d'objets.

Le mérite des théories nativistes est de donner le message : on n'apprend pas quelque chose à partir de rien. Il faut que des structures existent pour mettre en place les premiers apprentissages. Sur un exemple concret, celui du nombre, on a l'idée de structures minimales innées (la capacité à différencier perceptivement 2 et 3 points), capacité qui va permettre ensuite de différencier des

nombres d'objets indépendamment des objets, puis, plus tard, de compter. Même si le chemin reste long à parcourir pour mieux décrire les modes de représentation qui préparent la véritable numérosité, on peut déjà saisir quelques jalons sur la manière dont le nombre se prépare.

Quant aux premiers mois, il semble néanmoins possible de soustraire le calcul aux capacités précoces du nourrisson, même si cela divise les chercheurs qui multiplient leurs efforts pour en ajouter.

Bibliographie

- Antell, S.E., & Keating, D.P. (1983) Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54, 695-701.
- Baillargeon, R. (1999) Young infants' expectations about hidden objects: a reply to three challenges. *Developmental Science*, 2 (2), 115-163.
- Bideaud, J. (1991) La genèse du nombre, les chemins du nombre. In J. Bideaud, C. Meljac & J.P. Fischer (Eds.) *Les chemins du nombre*. Lille, Presses Universitaires de Lille. pp. 13-31.
- Bideaud, J. (1995) From Wynn's infant « calculations » to cardinality : What develops ? *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 14 (6), 685-694.
- Bideaud, J. (1997) La construction du nombre chez le jeune enfant : une bonne raison d'affûter le rasoir d'Occam. *Bulletin de Psychologie Hommage à Pierre Oléron*, 427, 19-28
- Bideaud, J., Meljac, J., & Fischer, J. P. (1991) *Les chemins du nombre*. Lille, Presses Universitaires de Lille.
- Canfield, R. L., & Smith, E. G. (1996). Number-based expectations and sequential enumeration by 5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 32(2), 269-279.
- Cashon, C. H., & Cohen, L. B. (2000). Eight -month-old infants' perception of possible and impossible events. *Infancy*, 1(4), 429-446.
- Dehaene, S. (1997). *La bosse des maths*. Paris: Éditions Odile Jacob.
- Feigenson, L. & Spelke, E.S. (1998) *Numerical knowledge in infancy: the number/mass distinction* Poster présenté à l'International Conference for Infant Studies, Atlanta, 2-5 avril.
- Fischer, J. P. (1991) Le subitizing et la discontinuité après 3. In J. Bideaud, C. Meljac & J.P. Fischer (Eds.) *Les chemins du nombre*. Lille, Presses Universitaires de Lille. pp. 235-258.
- Frydman, O. (1995). The concept of number and the acquisition of counting concepts: The 'when', the 'how', and the 'what' of it. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 14(6), 653-684
- Garnham, A. (1991). Did two farmers leave or three? Comment on Starkey, Spelke & Gelma: Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, 39, 167-170.
- Gelman, R. & Gallistel, C.R. (1978) *The child understanding of number*. Cambridge (MA) Harvard University Press.
- Gelman, R. & Meck, E. (1991) Premiers principes et conception du nombre. In J. Bideaud, C. Meljac & J.P. Fischer (Eds.) *Les chemins du nombre*. Lille, Presses Universitaires de Lille. pp. 211-234

- Haith, M. M. (1998) Who put the cog in infant cognition ? Is rich interpretation too costly ? *Infant Behavior and Development*, 21 (2), 167-179.
- Houdé, O. (1997). Numerical development: From the infant to the child. Wynn's (1992) paradigm in 2- and 3-year olds. *Cognitive Development*, 12, 373-391.
- Huttenlocher, J., Jordan, N. C., & Cohen Levine, S. (1994). A mental model for early arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123 (3), 284-296.
- Koechlin, E., Dehaene, S., & Mehler, J. (1997). Numerical transformations in five-month-old human infants. *Mathematical Cognition*, 3(2), 89-104.
- Lécuyer, R. (1996). Les sources de la connaissance. In R. Lécuyer & A. Streri & M.-G. Pêcheux (Eds.), *Le développement cognitif du nourrisson* (Vol. 2, pp. 127-181). Paris: Nathan.
- Lécuyer, R. (2001) Rien n'est jamais acquis. De la permanence de l'objet... de polémiques. *Enfance*, 53 (1). 35-65.
- Lécuyer, R. & Poirier, C. (1994) Categorization in the five-month-old infants. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 13 (4) 493-509.
- Lécuyer, R. & Rovira, K. (1999) Organisation perceptive, délai inter - essais et catégorisation chez les bébés de quatre mois *L'Année Psychologique*, 99, 209-237.
- Leslie, A. M. (1999). *The attentional index as object representation: a new approach to the object concept and numerosity*. Paper presented at the Biennial meeting of Society for Research in Child Development, Albuquerque, N.M. April.
- Loosbroek, E. van & Smitsman, A. W. (1990) Visual perception of numerosity in infancy. *Developmental Psychology*, 26 (6), 916-922.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1998) Object representation, identity, and the paradox of early permanence: steps toward a new framework. *Infant Behavior and Development*, 21 (2), 201-235.
- Mix, K. S., Cohen Levine, S., & Huttenlocher, J. (1997). Numerical abstraction in infants: another look. *Developmental Psychology*, 33 (3), 423-428.
- Moore, D., Benenson, J., Reznick, J. S., & Peterson, M. (1987). Effect of auditory numerical information on infants' looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology*, 23(5), 665-670.
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). Learning and development: the implicit knowledge assumption reconsidered. In M. I. Stadler & P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning*. Thousand Oaks, CA: Sage publications.
- Piaget, J. & Szeminska, A., (1941) *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaud et Nieslé.
- Poirier, C., Lécuyer, R., & Cybula, C. (2000) Categorization of geometric figures composed of three or four elements by 3-month-old infants. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 19 (2), 221-244.
- Reeves, L., & MacFerran, I. (1999, April 14-18). *1,2,5,8: I can't count but I can correspond*. Paper presented at the Biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque.

- Rovira, K. & Lécuyer, R. (soumis) Can four month-olds differentiate two figures composed of 8 and 7 elements?
- Simon, T. J. (1997). Reconceptualizing the origins of number knowledge: A « non-numerical » account. *Cognitive Development*, 12, 349-372.
- Simon, T.J., Hespos, S. J. & Rochat, P. (1995) Do infants understand simple arithmetic ? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253-269.
- Smith, L. B. (1999) Do infant possess innate knowledge structures? The con side. *Developmental Science*, 2 (2), 133-144.
- Spelke, E. S.(1998) Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. *Infant Behavior and Development*, 21 (2), 181-200
- Starkey, P. (1992). The early development of numerical reasoning. *Cognition*, 43, 93-126.
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980) Perception of number by human infants. *Science*, 210, 1033-1035.
- Starkey, P., Spelke, E.S., & Gelman, R. (1983) Detection of intermodal numerical correspondences by human infants. *Science*, 222, 179-181.
- Starkey, P., Spelke, E. S., & Gelman, R. (1990) Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, 36, 97-127.
- Starkey, P., Spelke, E. S., & Gelman, R. (1991) Toward a comparative psychology of number. *Cognition*, 39, 171-172.
- Stern, E. (1999, April 15-18). *Elementary school children's difficulties in understanding quantitative comparisons: The cardinal number bias*. Paper presented at the Biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque.
- Strauss, M.S. & Curtis L.E. (1981) Infant perception of numerosity, *Child Development*, 52, 1146-1152.
- Treiber, F., & Wilcox, B. (1984) Discrimination of number by infants. *Infant Behavior and Development*, 7, 93-100.
- Uller, C. (1998) *Infants' understanding of 1+1: new evidences*. Poster présenté à l'International Conference for Infant Studies, Atlanta, 2-5 avril.
- Uller, C., Carey, S., Huntley Fenner, G., & Klatt, L. (1999). What representations might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive Development*, 14(1), 1-36.
- Wakeley, A., Riviera, S., & Langer, J. (2000a). Can young infants add and subtract ? *Child Development*, 71(6), 1525-1534.
- Wakeley, A., Riviera, S., & Langer, J. (2000b). Not proved; reply to Wynn. *Child Development*, 71(6), 1537-1539.
- Wechsler Clearfield, M., & Mix, K. S. (1999). Number versus contour length in infants' discrimination of small visual sets. *Psychological Science*, 10(5), 408-411.
- Wynn, K. (1992) Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Wynn, K. (1995). Infants possess a system of numerical knowledge. *Current Directions in Psychological Science*, 4(6), 172-177.
- Wynn, K. (1996). Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science*, 7(3), 164-169.

- Wynn, K. (2000). Findings of addition and subtraction in infants are robust and consistent. reply to Wakeley, Riviera & Langer. *Child Development*, 71(6), 1535-1536.
- Wynn, K. & Chiang, W.C. (1998) *Limits to infants' knowledge of objects: The case of magical appearance*. Poster présenté à l'International Conference for Infant Studies, Atlanta, 2-5 avril.
- Xu, F., & Carey, S. (1996). Infants' metaphysics: the case of numerical identity. *Cognitive Psychology*, 30, 111-153.