

**Cours 2014:**

**Fondements cognitifs des apprentissages scolaires**

Stanislas Dehaene  
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°7

**Fondements cognitifs de l'apprentissage des mathématiques**

# Que sont et que font les mathématiques?

Nous parvenons à pratiquer les mathématiques parce que nous héritons de notre évolution **des systèmes de représentation approximative des nombres, de l'espace, du temps, des probabilités, de la logique...** que nous recyclons pour des usages nouveaux.

Nos intuitions mathématiques s'ancrent dans des représentations concrètes, adaptées au monde qui nous entoure : **tous les enfants possèdent des intuitions proto-mathématiques.**

Nous augmentons les compétences de notre cerveau en inventant des **systèmes de symboles** qui mettent en liaison ces régions anciennes entre elles et avec les aires du langage : « apprendre, c'est tisser des liens ».

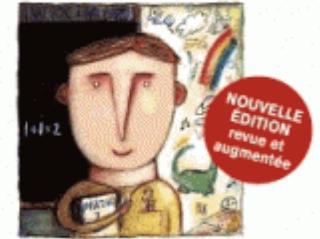
Spéculations: L'entraînement à la manipulation des objets mathématiques est **bénéfique pour le cerveau de l'enfant:**

Il automatise une « **boîte à outil mentale** » utile dans bien des circonstances : calcul, mesure, graphiques...

Il entraîne fortement les **systèmes de contrôle exécutif.**

STANISLAS DEHAENE

## LA BOSSE DES MATHS



# Une «prédisposition» précoce pour le nombre

Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *PNAS*, 106(25), 10382–5.



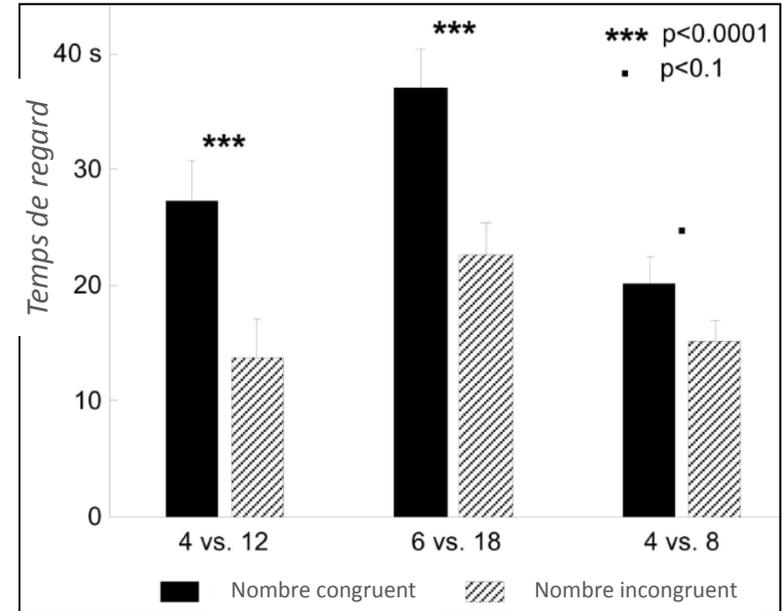
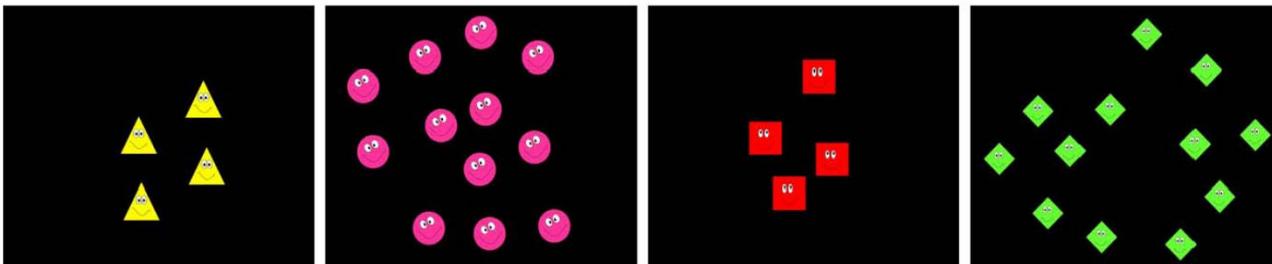
48 nouveau-nés d'âge moyen 49 heures (!) sont d'abord habitués à écouter des séries de sons.

Puis on mesure combien de temps ils fixent des diapositives contenant un nombre correspondant d'objets.

## Familiarization (2 min)

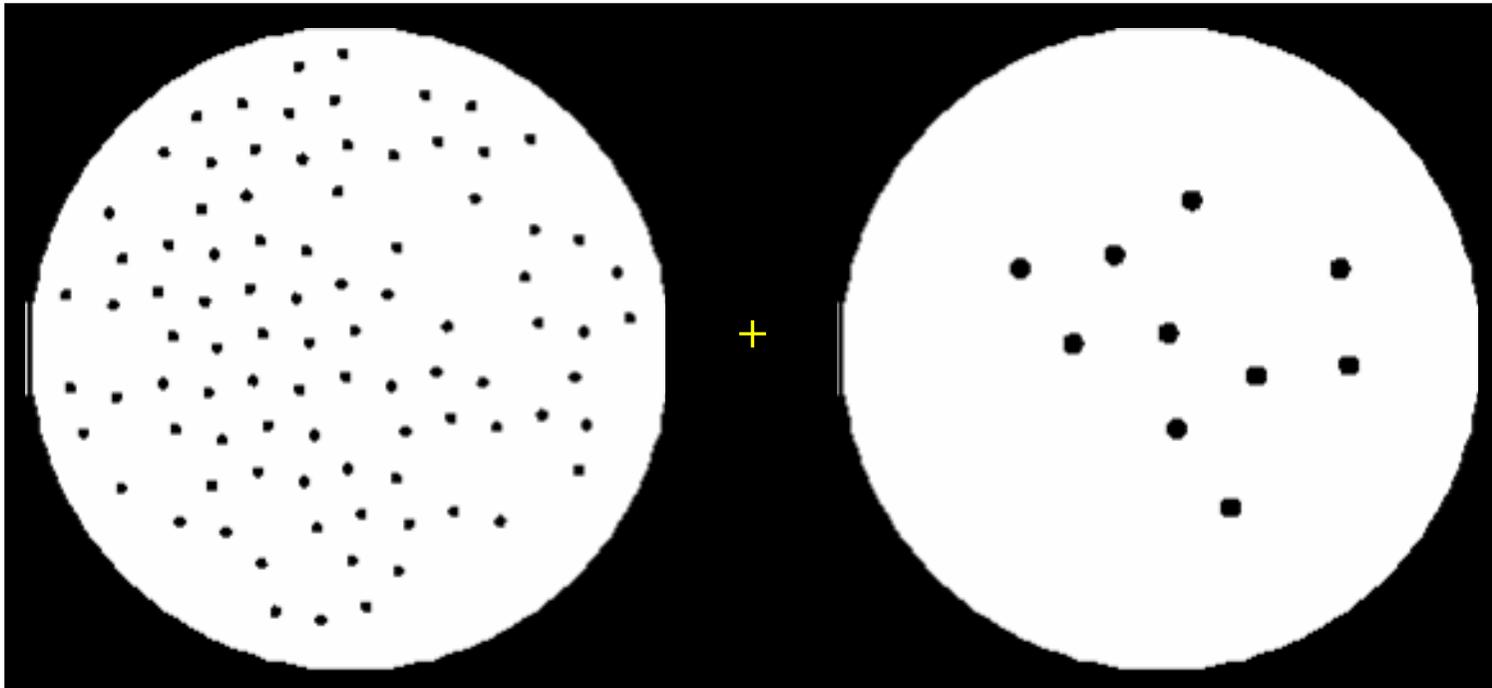
12 ... " tu-tu-tu-tu-tu-tu-tu-tu-tu-tu-tu " ... " ra-ra-ra-ra-ra-ra-ra-ra-ra-ra-ra- " ...  
or  
4 ... " tuuuuu-tuuuuu-tuuuuu-tuuuuu " ... " raaaaa-raaaaa-raaaaa-raaaaa " ...

## Test (4 trials)



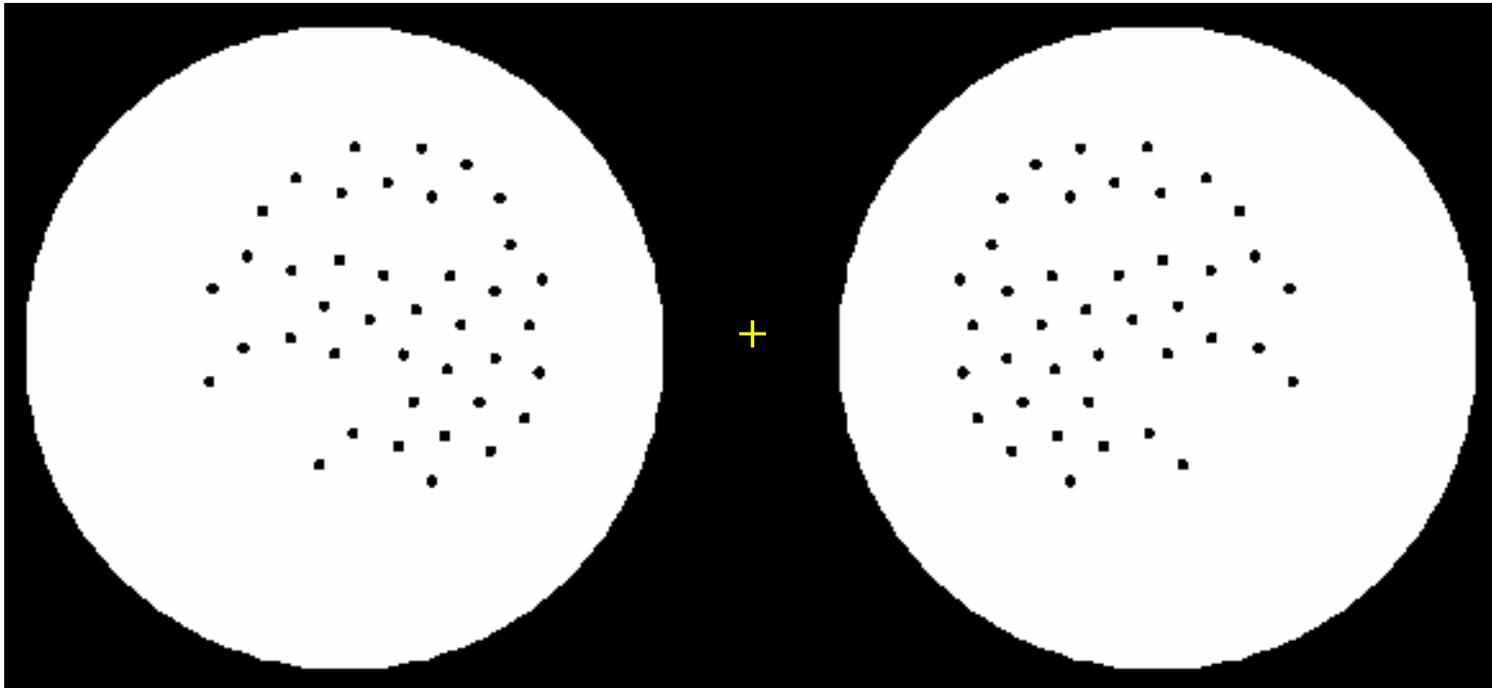
Les bébés regardent plus longtemps lorsque le nombre auditif et le nombre visuel correspondent.

## Le nombre fait partie des attributs élémentaires de la perception



Burr, D., & Ross, J. (2008). A visual sense of number. *Curr Biol*, 18(6), 425–8.

## Le nombre fait partie des attributs élémentaires de la perception



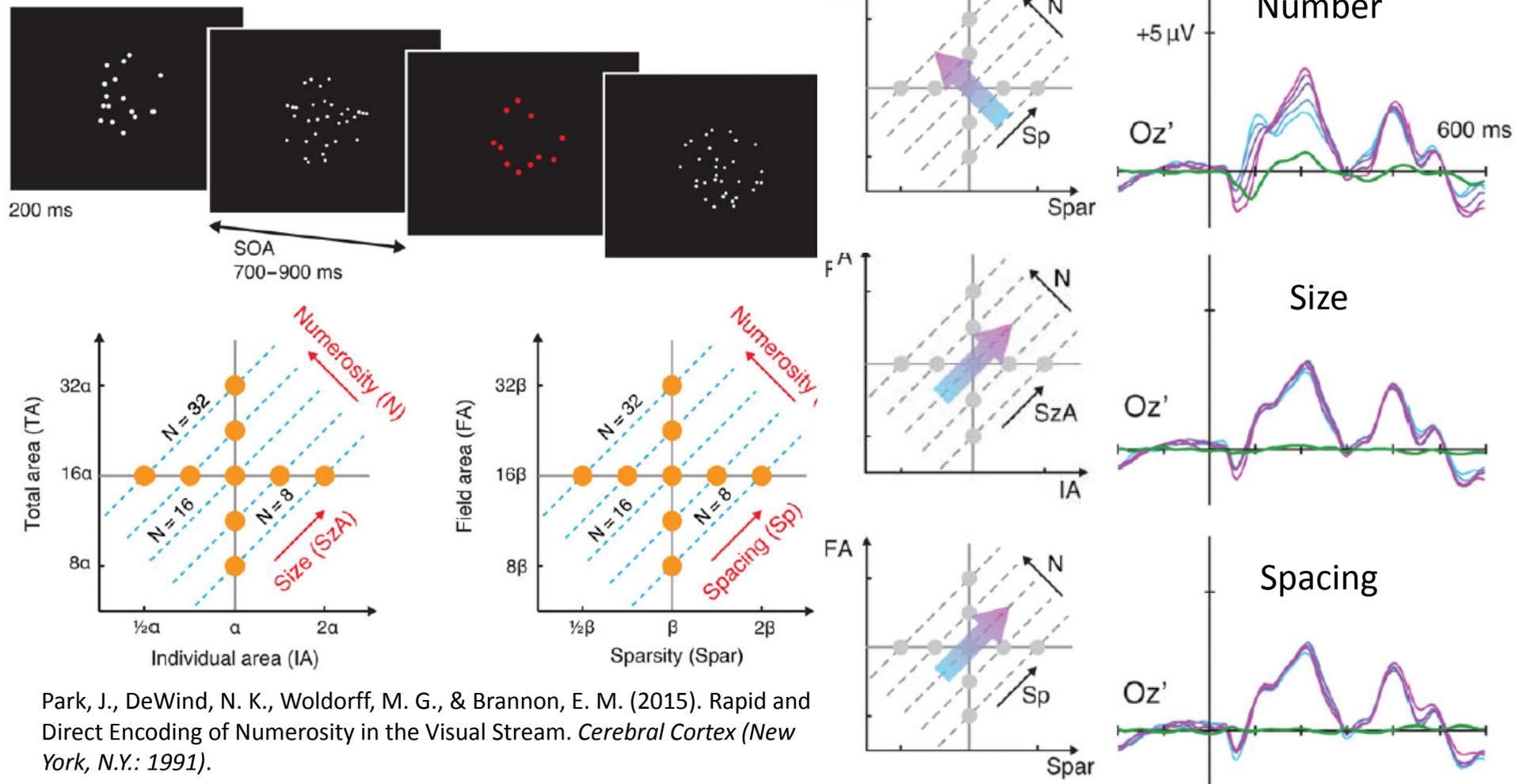
Burr, D., & Ross, J. (2008). A visual sense of number. *Curr Biol*, 18(6), 425–8.

# Le nombre est perçu plus facilement que d'autres dimensions

Les bébés sont bien plus sensibles aux changements de nombre qu'à ceux de la surface totale.

Cordes, S., & Brannon, E. M. (2008). The difficulties of representing continuous extent in infancy: using number is just easier. *Child Dev*, 79(2), 476–89.

Les potentiels évoqués précoces sont modulés par la numérosité, bien plus que par d'autres paramètres non-numériques.



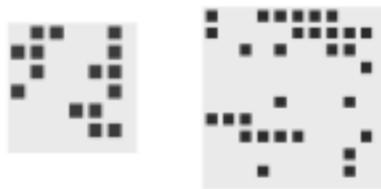
Park, J., DeWind, N. K., Woldorff, M. G., & Brannon, E. M. (2015). Rapid and Direct Encoding of Numerosity in the Visual Stream. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*.

# L'effet de distance:

## La « signature » du sens approximatif des nombres

Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2006). Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychol Sci*, 17(5), 401–6.  
Dehaene, S. (2007). Symbols and quantities in parietal cortex : Elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. In P. Haggard & Y. Rossetti (Eds.), *Attention & Performance XXII. Sensori-motor foundations of higher cognition*. (pp. 527–574). Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

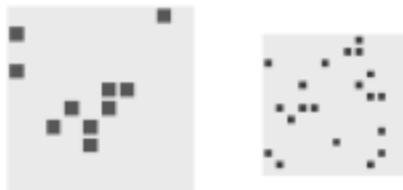
Après avoir appris à choisir le plus grand de deux ensembles, singes et hommes montrent des résultats extrêmement similaires:  
La performance décroît avec la distance (ratio) entre les nombres.



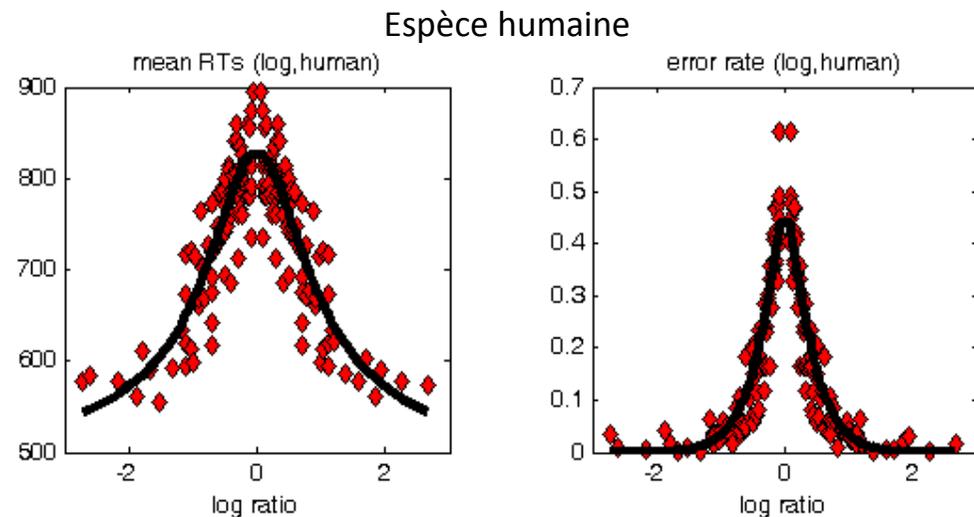
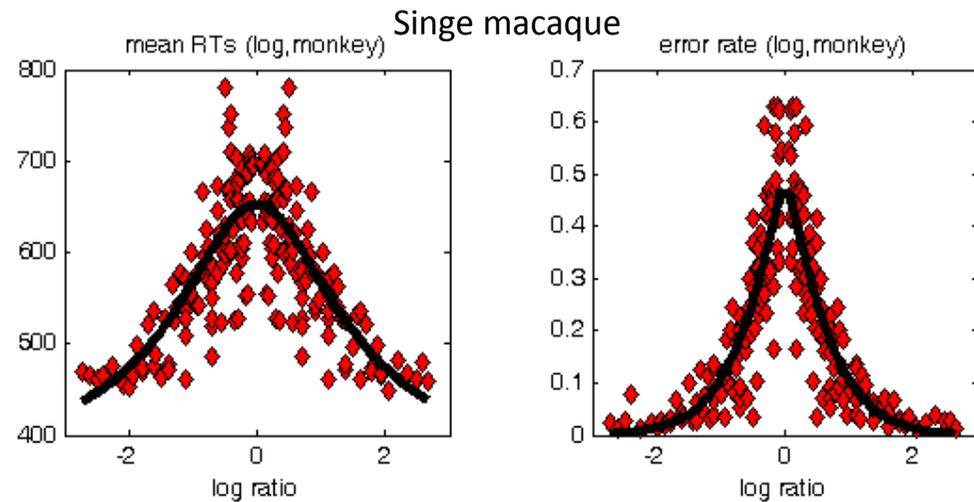
Density Equal



Surface Area Equal

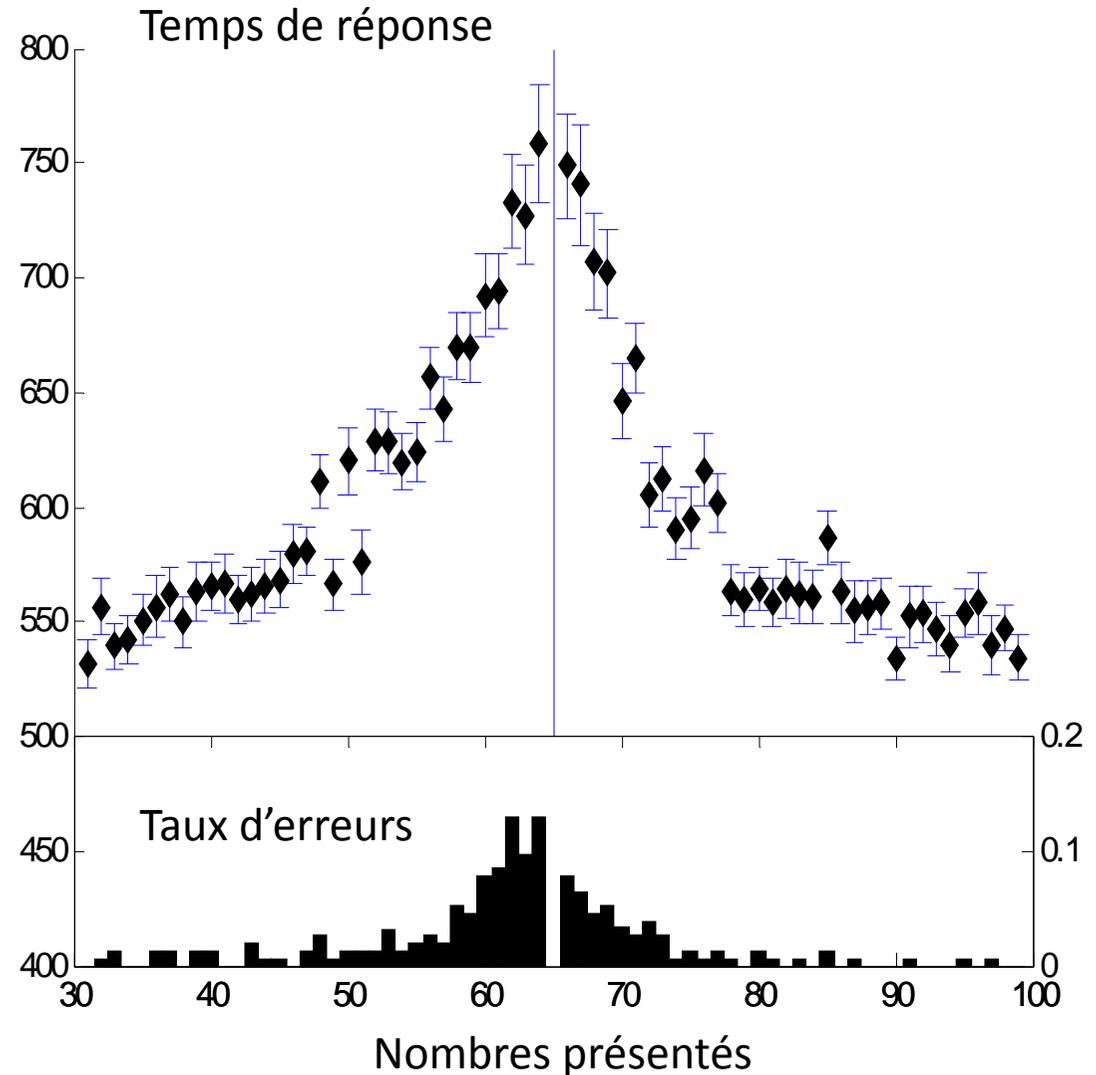
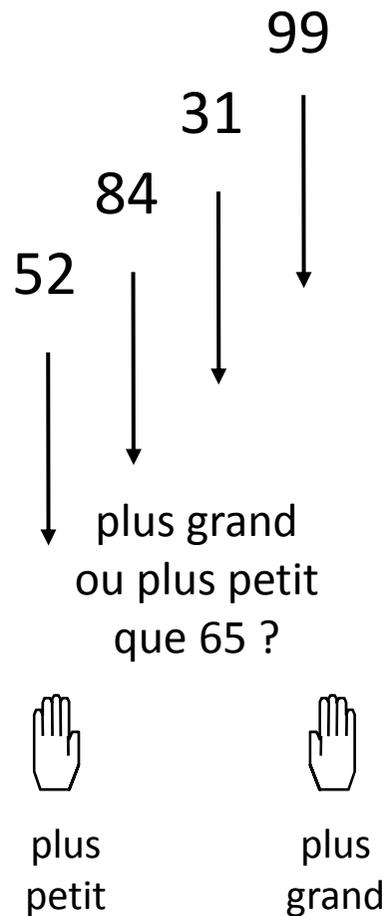


Perimeter Equal



# L'effet de distance en comparaison de nombres symboliques

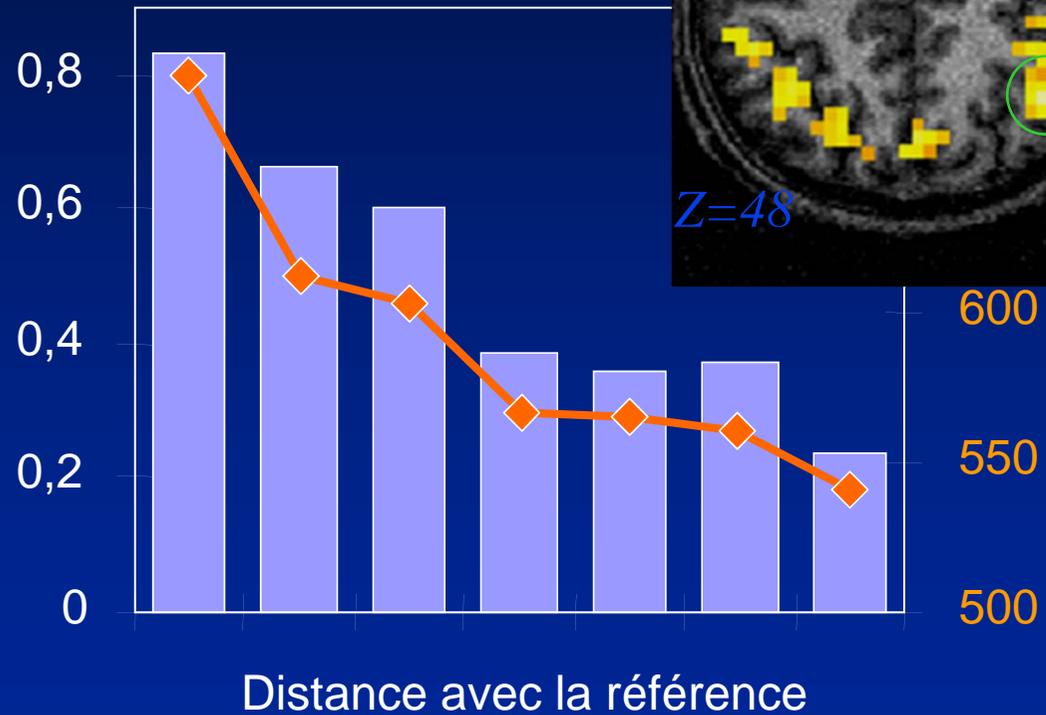
Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519–1520.  
Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital: Analogical and Symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626–641.



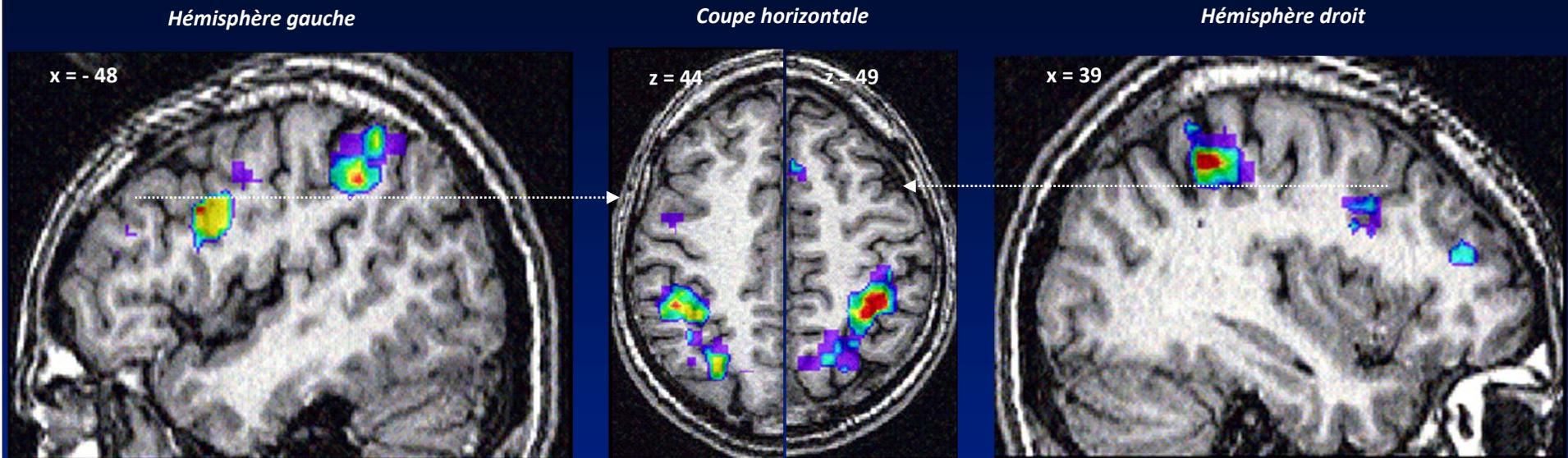
# Bases cérébrales de la comparaison des nombres



% activation



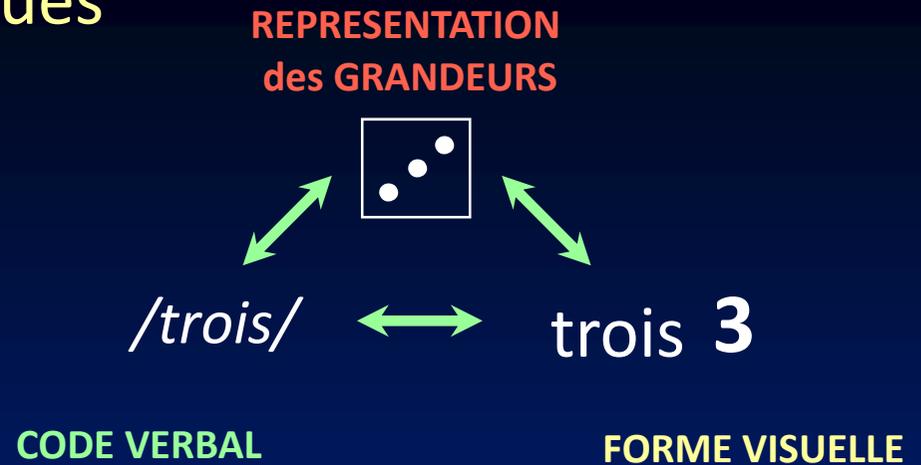
# Le « sens des nombres » et le sillon intrapariétal



- Toutes les tâches numériques (calcul, comparaison...) activent une même région
- L'activité de cette région est directement proportionnelle à la difficulté de l'opération

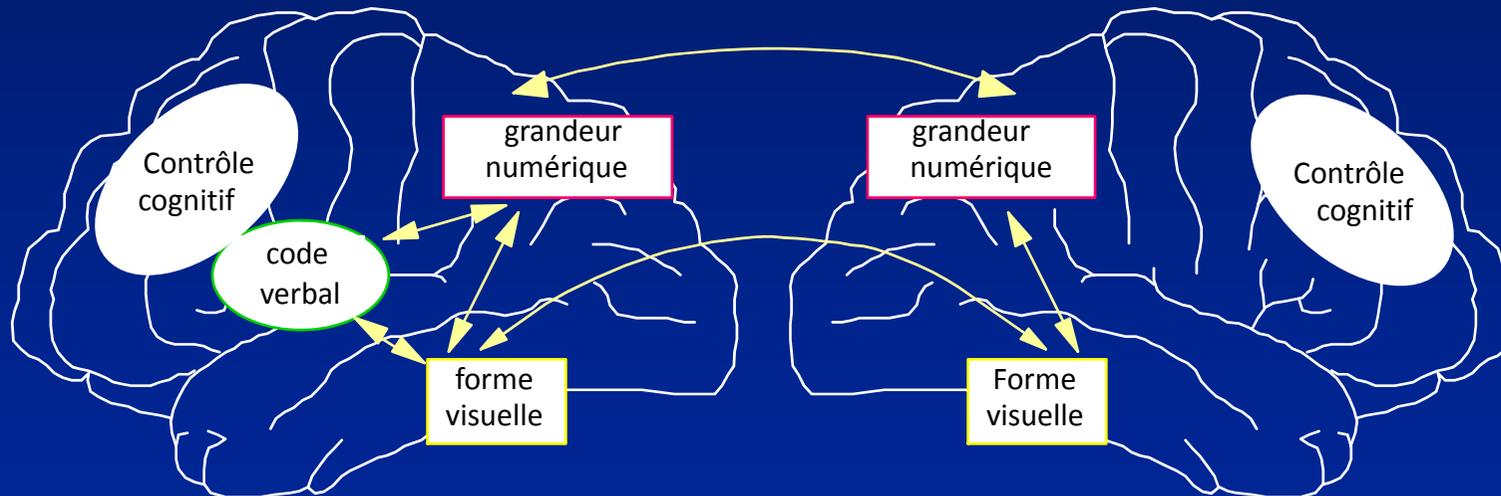
# Représentations non-symboliques et symboliques du nombre: Le modèle du "triple code"

(Dehaene & Cohen, 1995)



Hémisphère gauche

Hémisphère droit

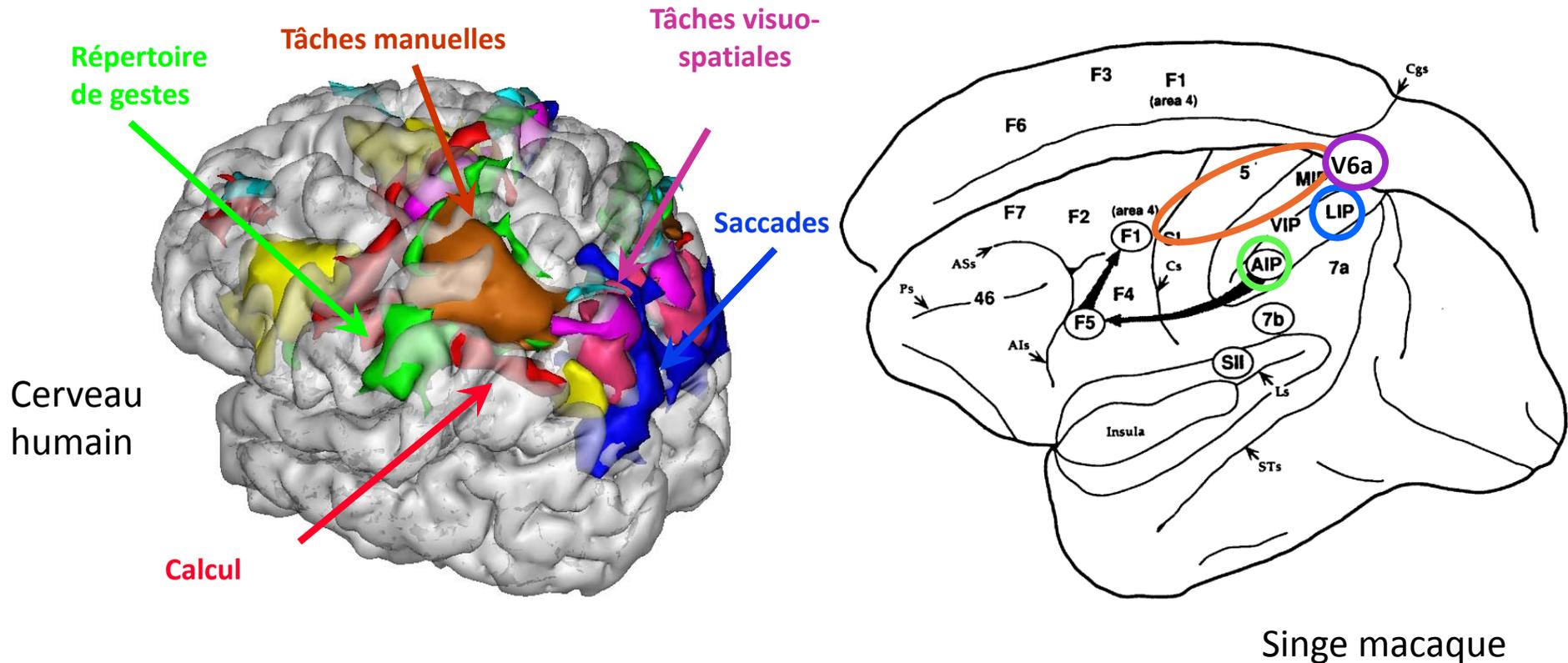


Dehaene, S. (1992). *Cognition*, 44, 1-42.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

# Les parallèles entre le cerveau de l'homme et celui du singe macaque

Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron*, 33(3), 475–87.



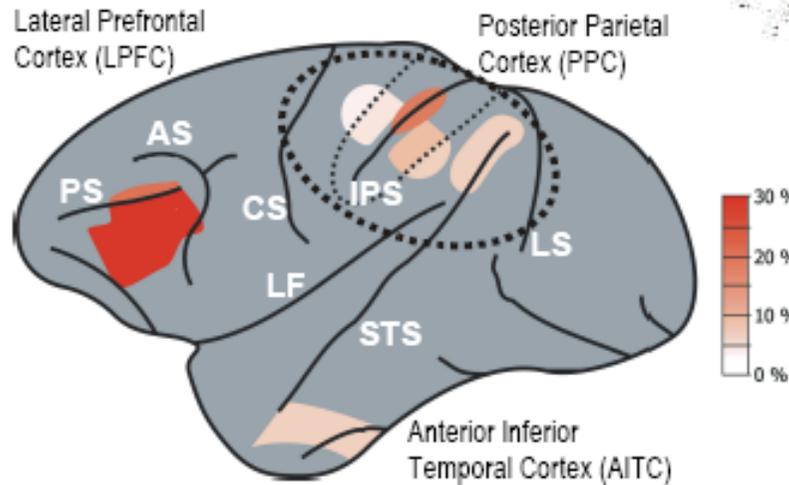
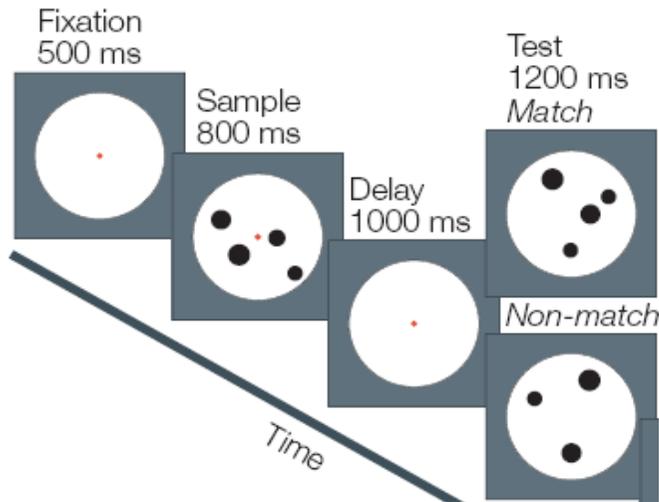
Le sillon intrapariétal s'active chaque fois que nous réfléchissons aux nombres. Il fait partie d'un ensemble de régions spécialisées pour l'espace et la motricité, qui existent également chez le singe.

# Codage des nombres par une population de neurones chez le singe macaque

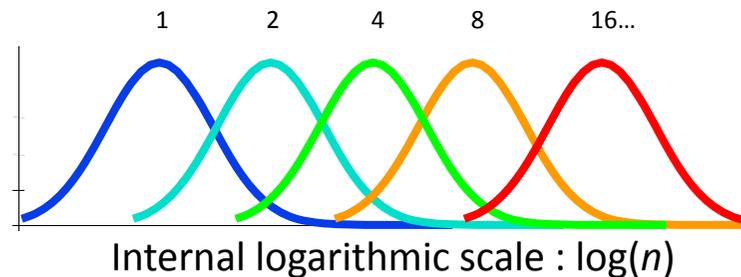
Nieder, A., Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 297(5587), 1708-1711.

Nieder, A., & Miller, E. K. (2003). Coding of cognitive magnitude. Compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex. *Neuron*, 37(1), 149-157.

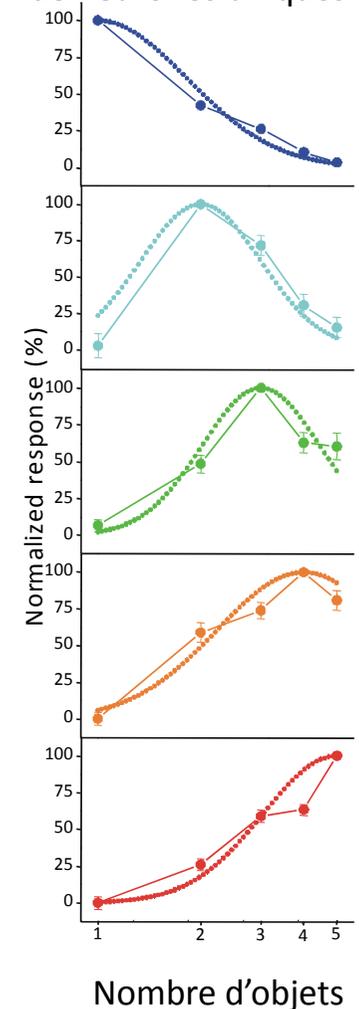
**Tâche:**  
**Mémorisation d'un nombre,**  
**Puis comparaison avec un second ensemble**



Modèle Log-Gaussien: chaque neurone possède une courbe d'accord gaussienne sur une échelle logarithmique

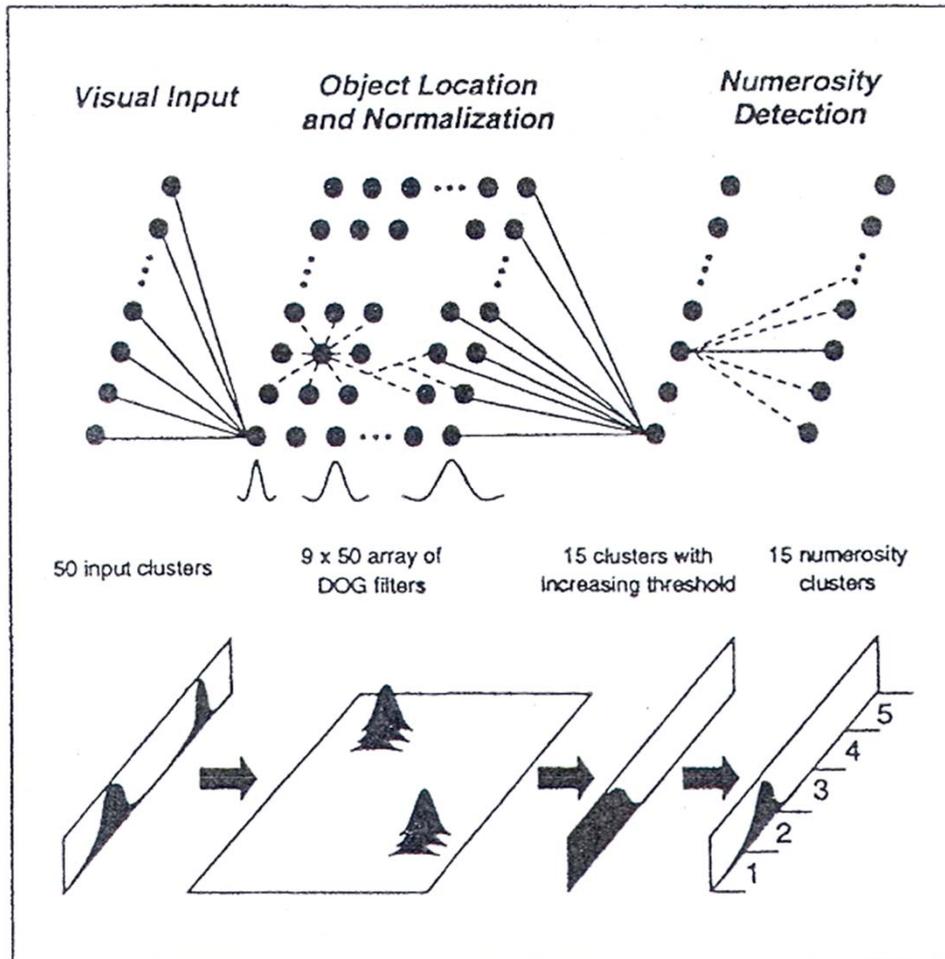


Courbes de réponse de neurones uniques

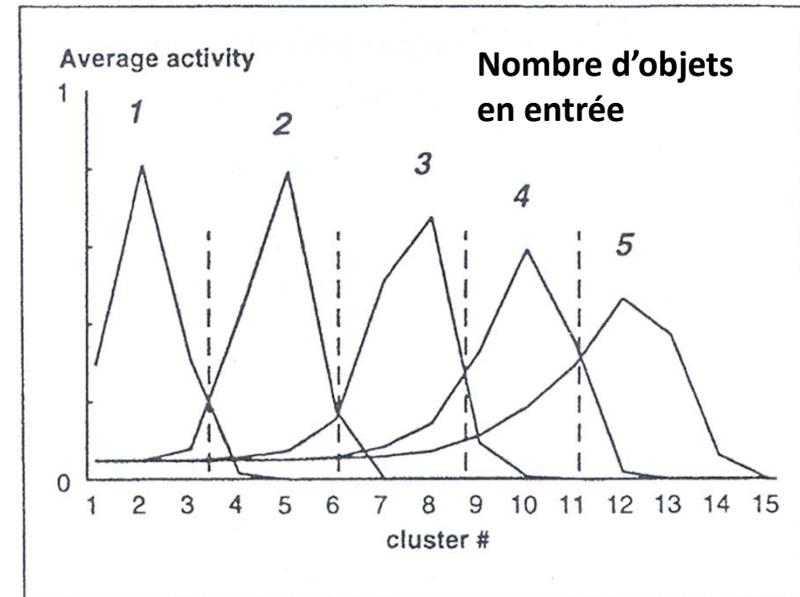


# Un modèle de réseau de neurones pour l'estimation de la numérosité

Réseau de neurones capable de représenter un nombre approximatif d'objets

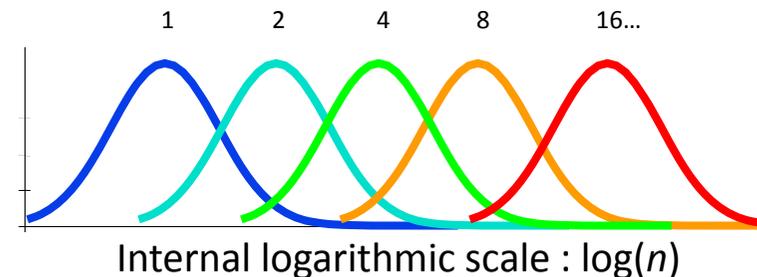


Dehaene, S., & Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 390–407.



Populations neuronales activées en fonction du nombre présenté.

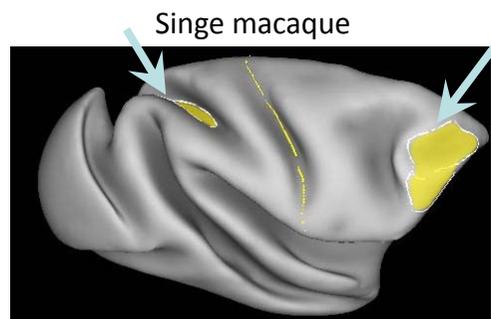
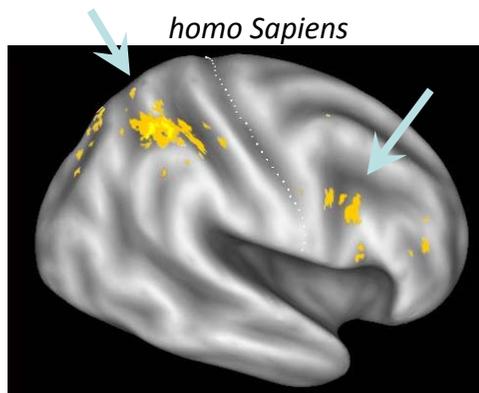
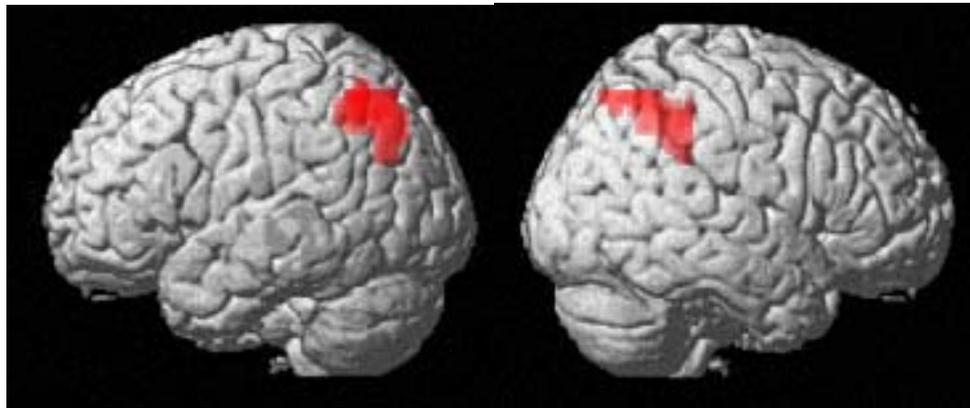
Modèle Log-Gaussien: chaque neurone possède une courbe d'accord gaussienne sur une échelle logarithmique



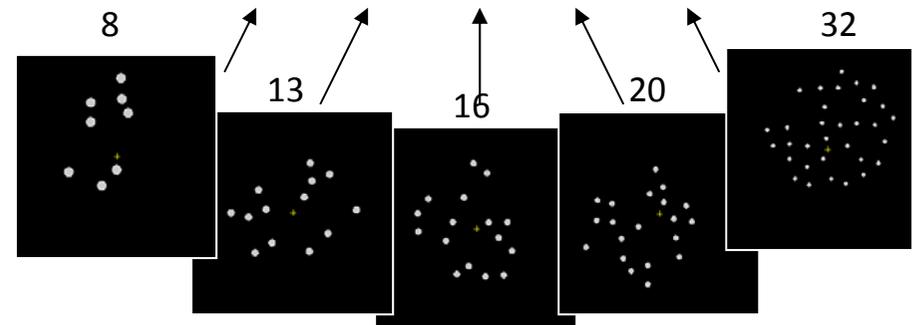
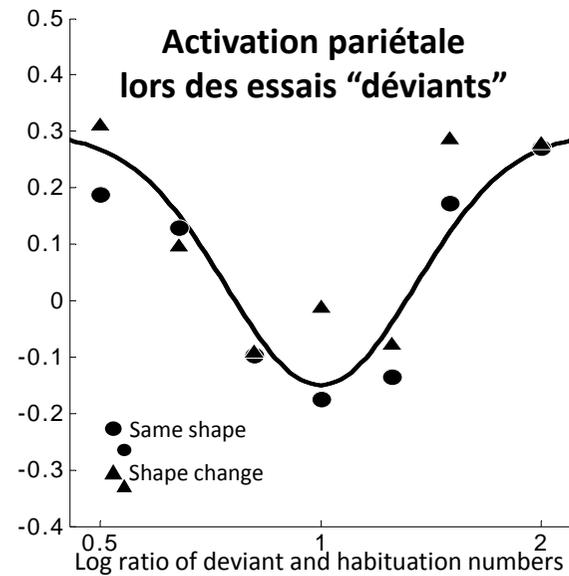
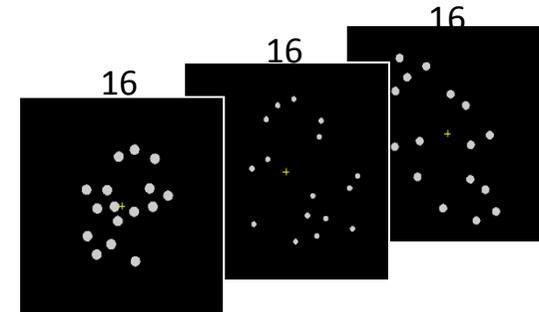
# Codage log-gaussien des nombres dans le sillon intrapariétal humain (hIPS)

Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan & Dehaene, Neuron 2004

Régions qui répondent à un changement de nombre



Adaptation à un nombre fixé dans un bloc donné



# Développement de la région pariétale gauche

Vogel, S. E., Goffin, C., & Ansari, D. (2015). Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: An fMR-adaptation study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12, 61–73.

Habituation aux chiffres arabes (tâche = détection occasionnelle d'une image)



Fig. 1. Examples of stimuli used in the paradigm: (a) the adaptation numeral; (b) a numerical deviant with the ratio 2; (c) catch trial with a numeral and a smurf.

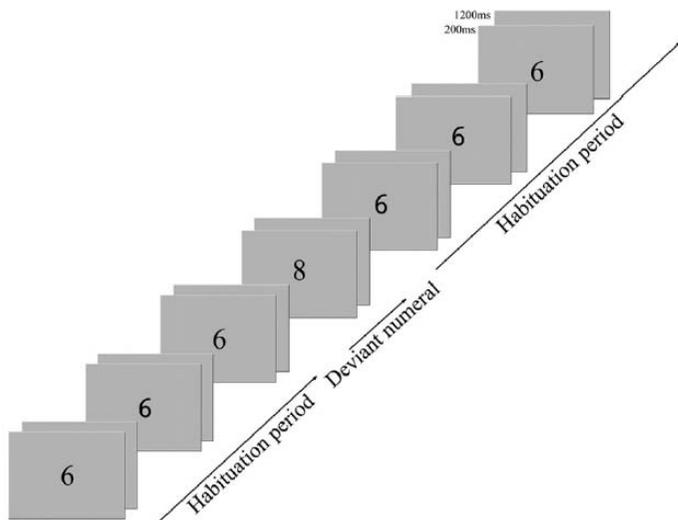
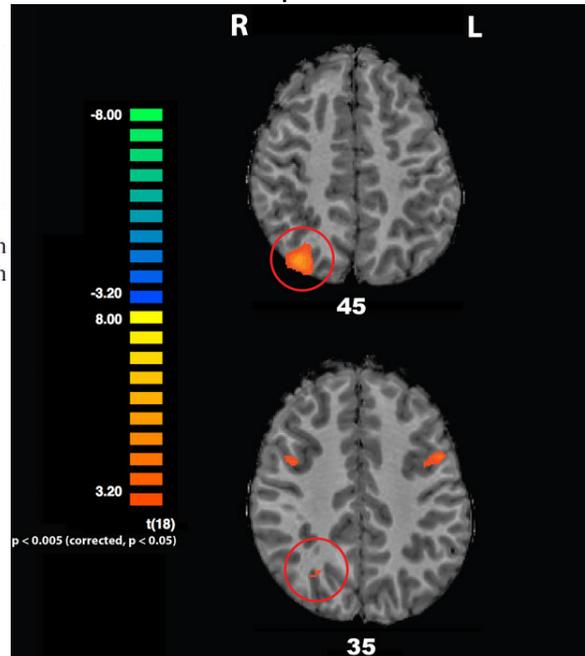
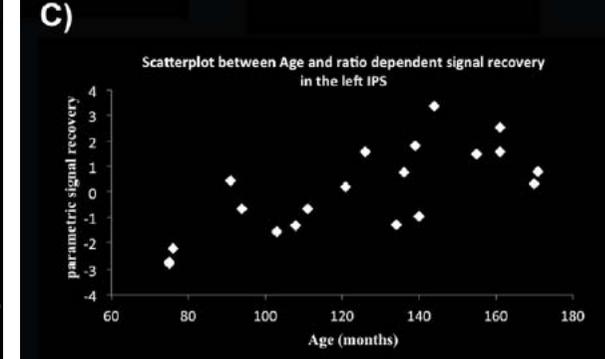
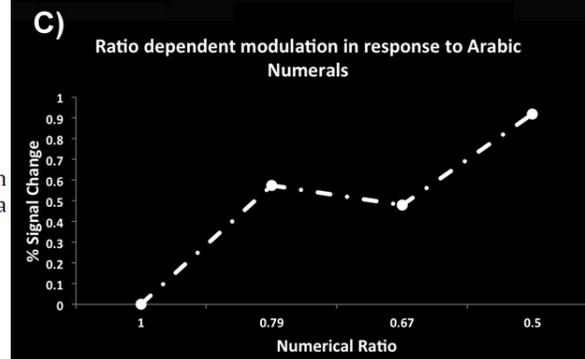
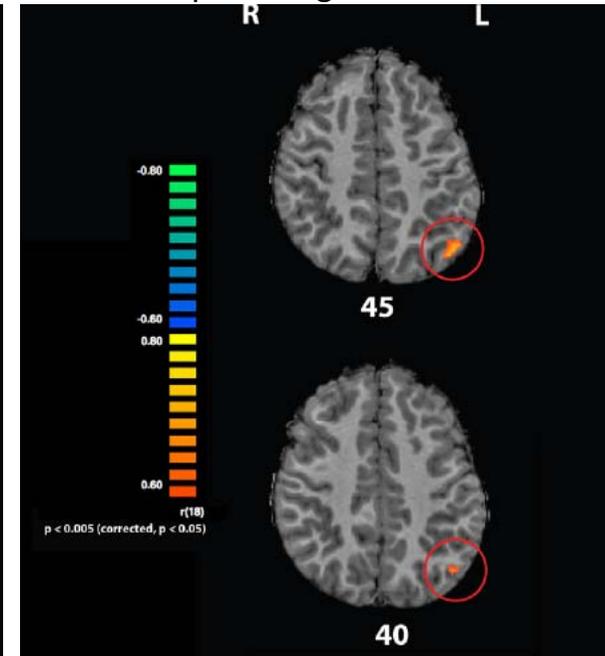


Fig. 2. Example stimuli: the continuous presentation of the adaptation numeral “6” (habituation period) was occasionally interspersed with a numerical deviant, in this case the number 8 (ratio 0.75).

Réplication de l'effet d'adaptation dans le cortex pariétal droit

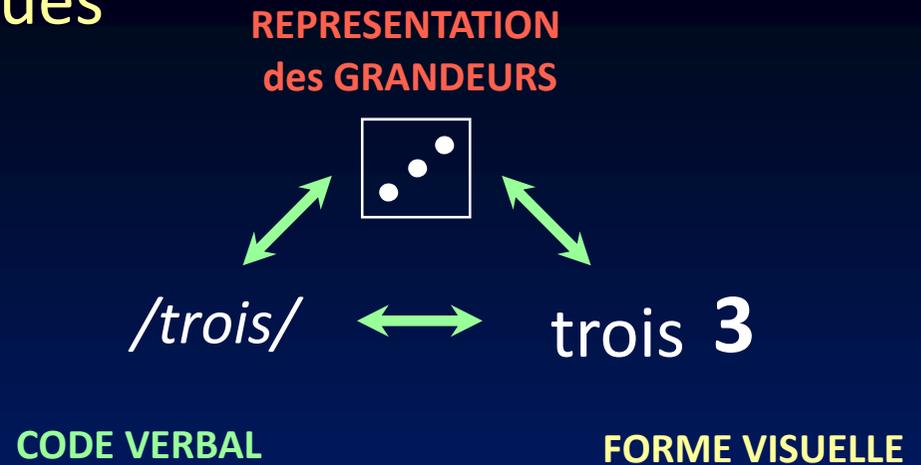


Augmentation d'adaptation dans le cortex pariétal gauche



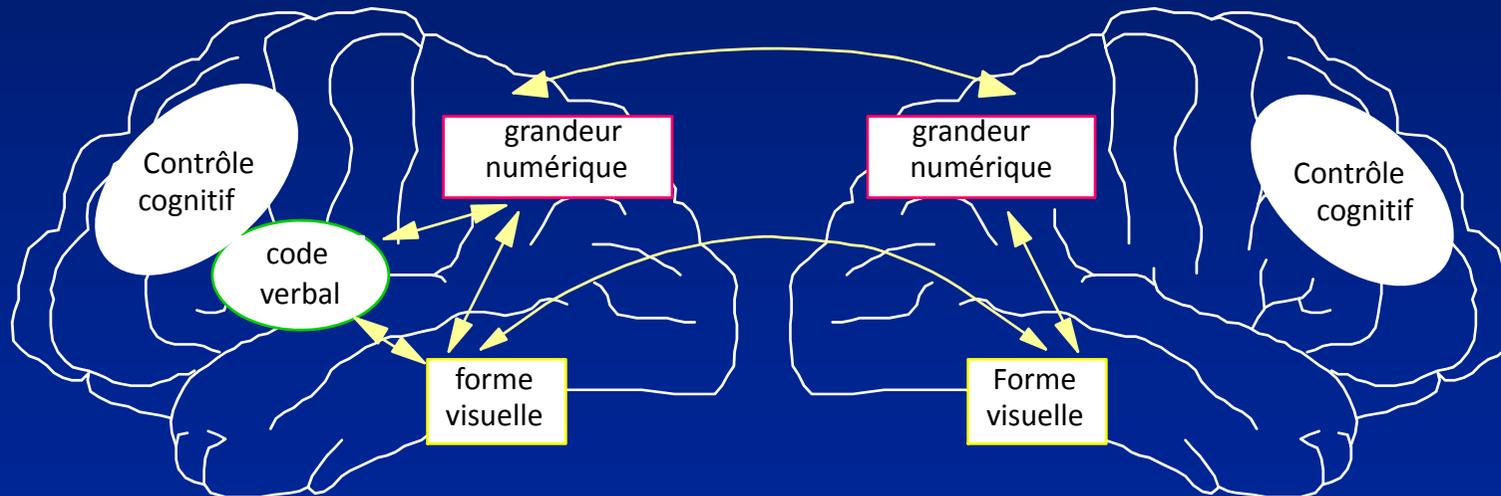
# Représentations non-symboliques et symboliques du nombre: Le modèle du "triple code"

(Dehaene & Cohen, 1995)



Hémisphère gauche

Hémisphère droit



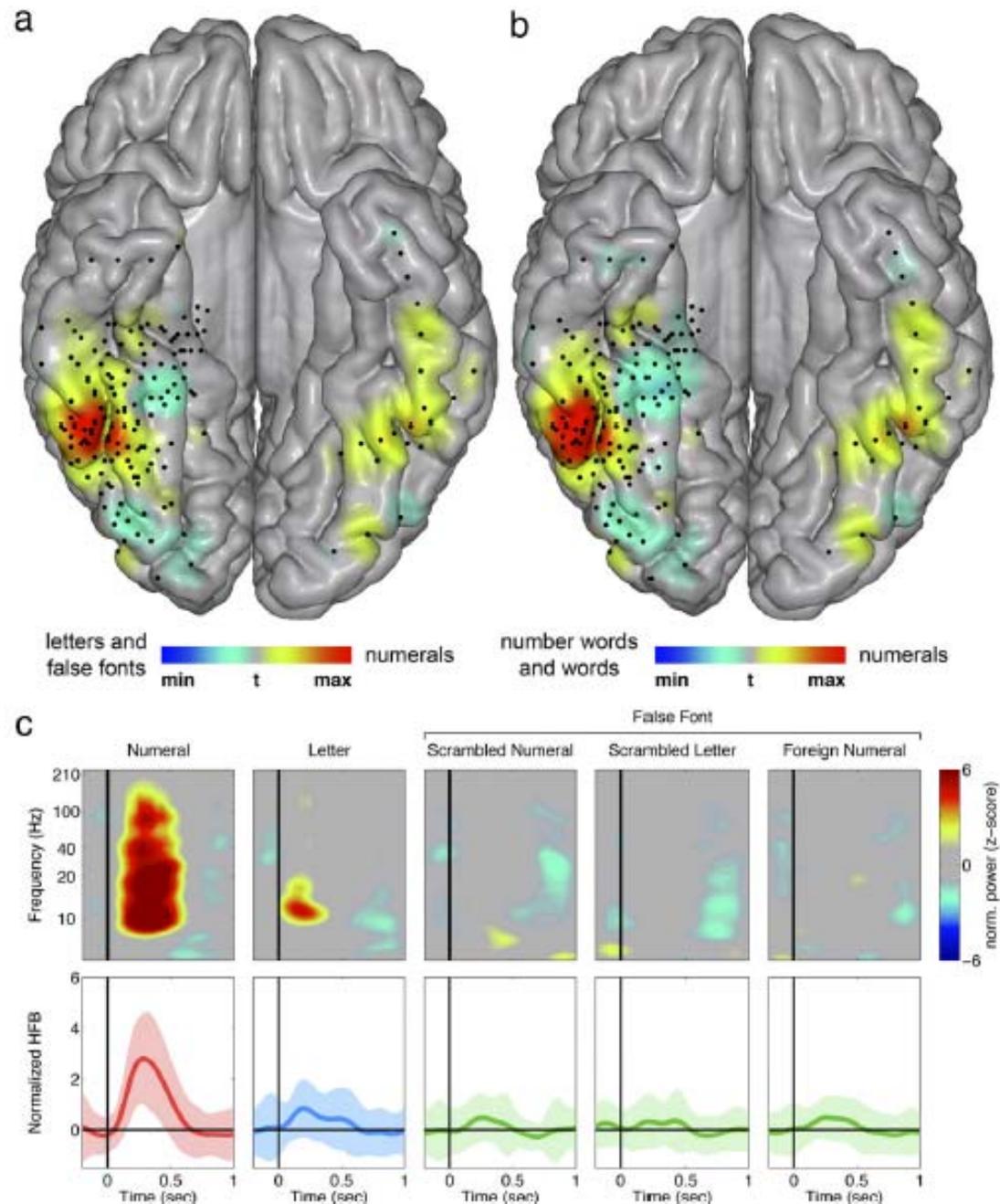
Dehaene, S. (1992). *Cognition*, 44, 1-42.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

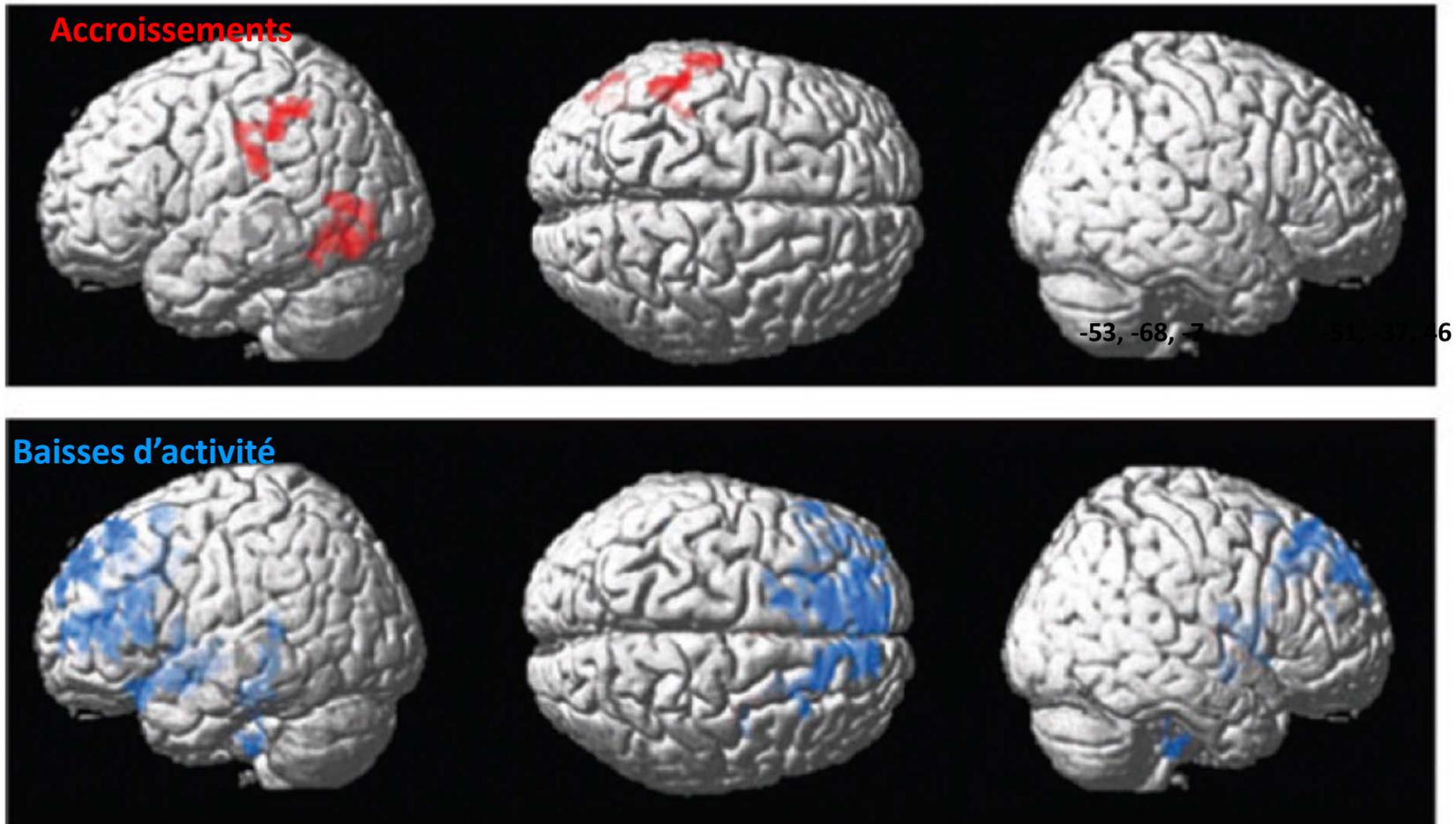
# L'aire de la forme visuelle des nombres: Une aire qui répond aux chiffres arabes

Shum, J., Hermes, D., Foster, B. L.,  
Dastjerdi, M., Rangarajan, V., Winawer, J.,  
... Parvizi, J. (2013). A brain area for visual  
numerals. *J Neurosci*, 33(16), 6709–15.

Les enregistrements  
intracrâniens ont  
récemment mis en évidence  
cette région jusqu'alors  
ignorée, qui répond  
sélectivement aux nombres,  
plus qu'aux mots ou à  
d'autres symboles.



## Evolution de l'activité cérébrale en arithmétique avec l'âge : L'importance de l'automatisation



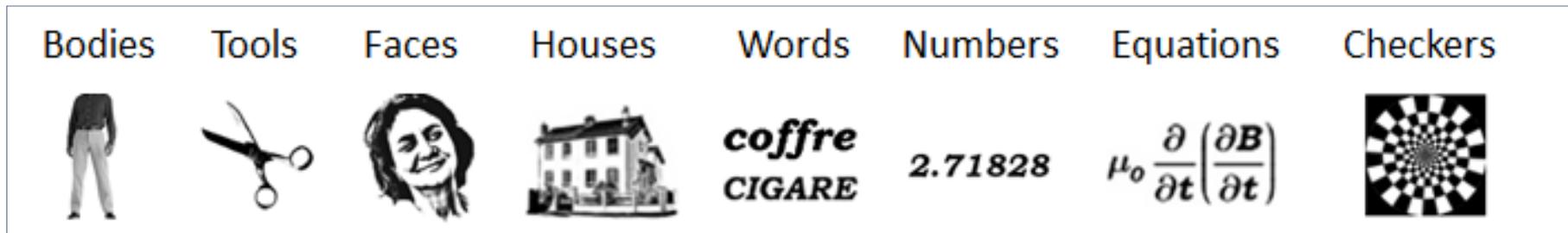
Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005). Developmental Changes in Mental Arithmetic: Evidence for Increased Functional Specialization in the Left Inferior Parietal Cortex. *Cereb Cortex*, 15(11), 1779-1790.

Ansari, D., & Dhital, B. (2006). Age-related changes in the activation of the intraparietal sulcus during nonsymbolic magnitude processing: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *J Cogn Neurosci*, 18(11), 1820-1828.

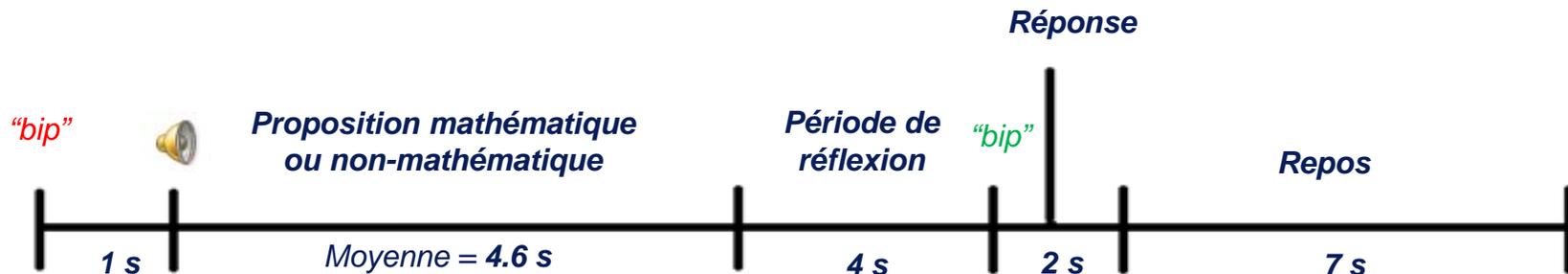
# Les mêmes aires cérébrales sont-elles utilisées chez les mathématiciens professionnels ?

Avec Marie Amalric et Saab Abou-Jaoudé, nous avons conçu des stimuli pour tester, en IRM, la représentation...

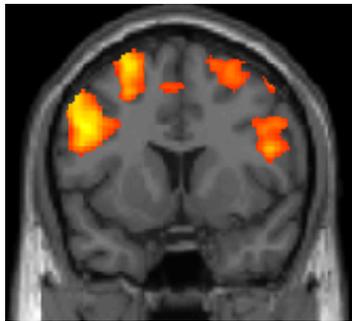
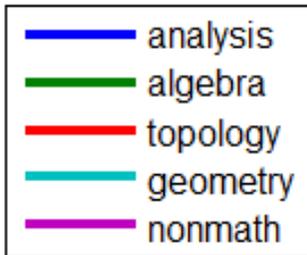
- Des nombres et des équations mathématiques dans le cortex visuel :



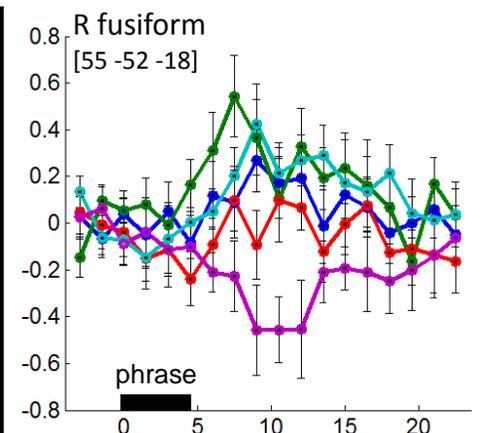
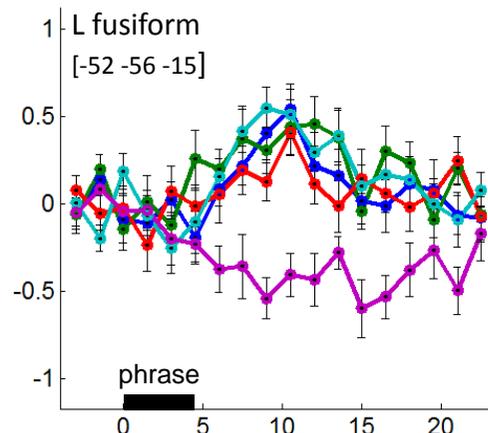
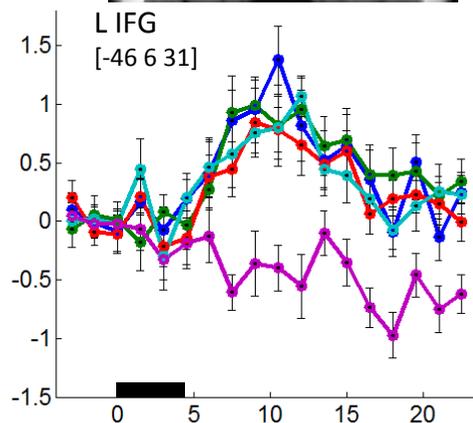
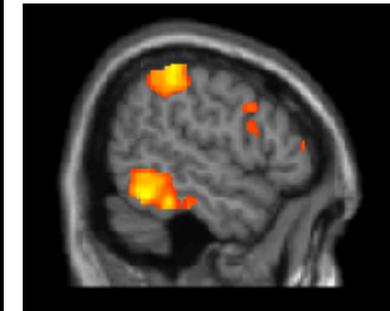
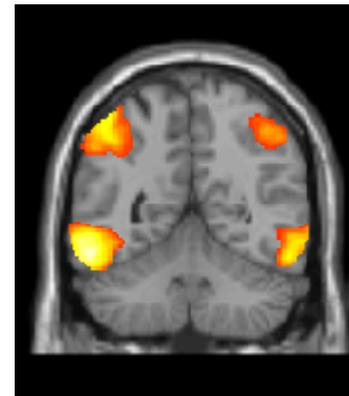
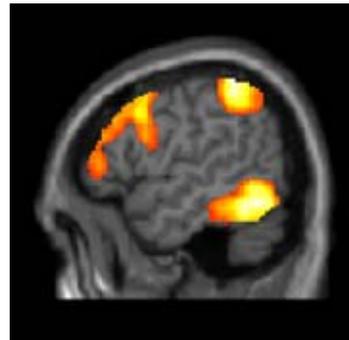
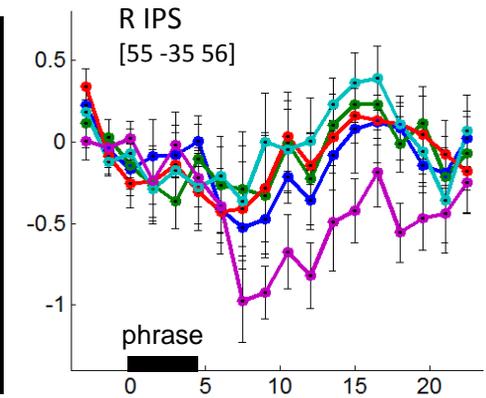
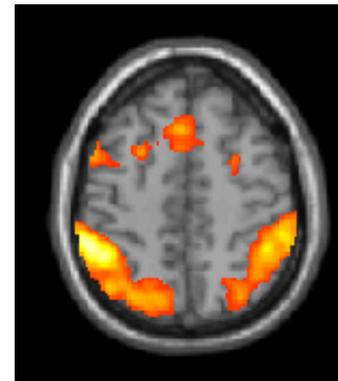
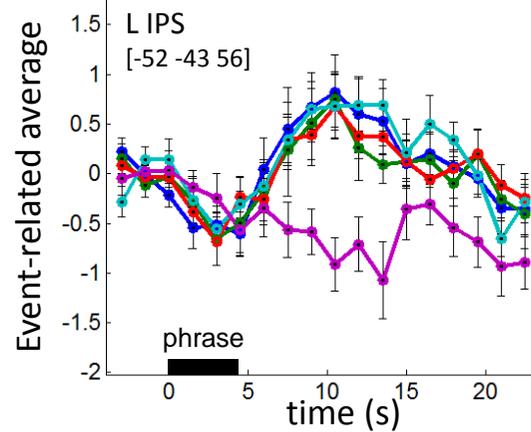
- Du sens des propositions mathématiques :



Tous les grands domaines des mathématiques (analyse, algèbre, topologie, géométrie) activent ces régions plus que la réflexion sur des connaissances générales de difficulté égale.

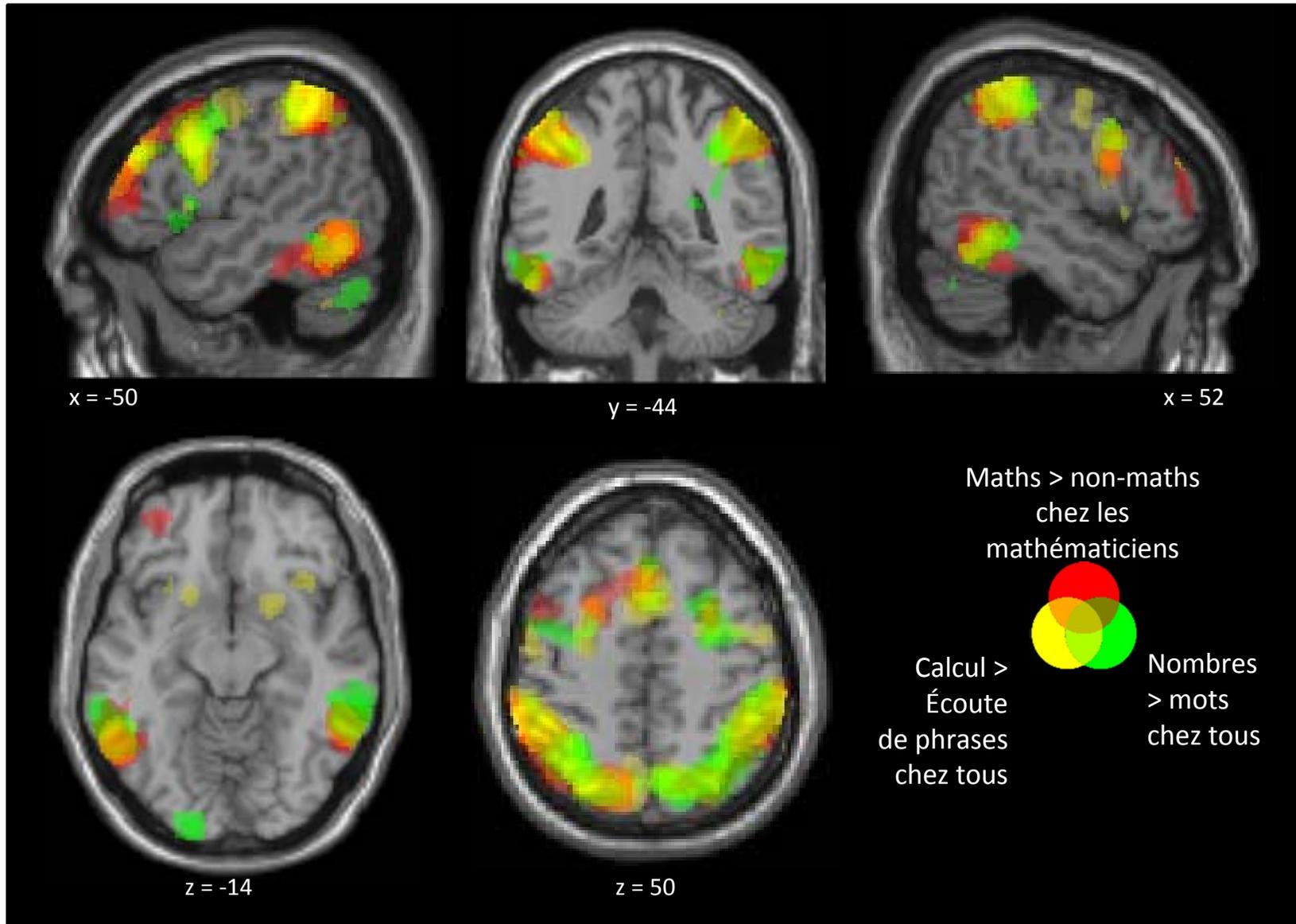


## La réflexion mathématique active les aires pariétales et temporales ventrales

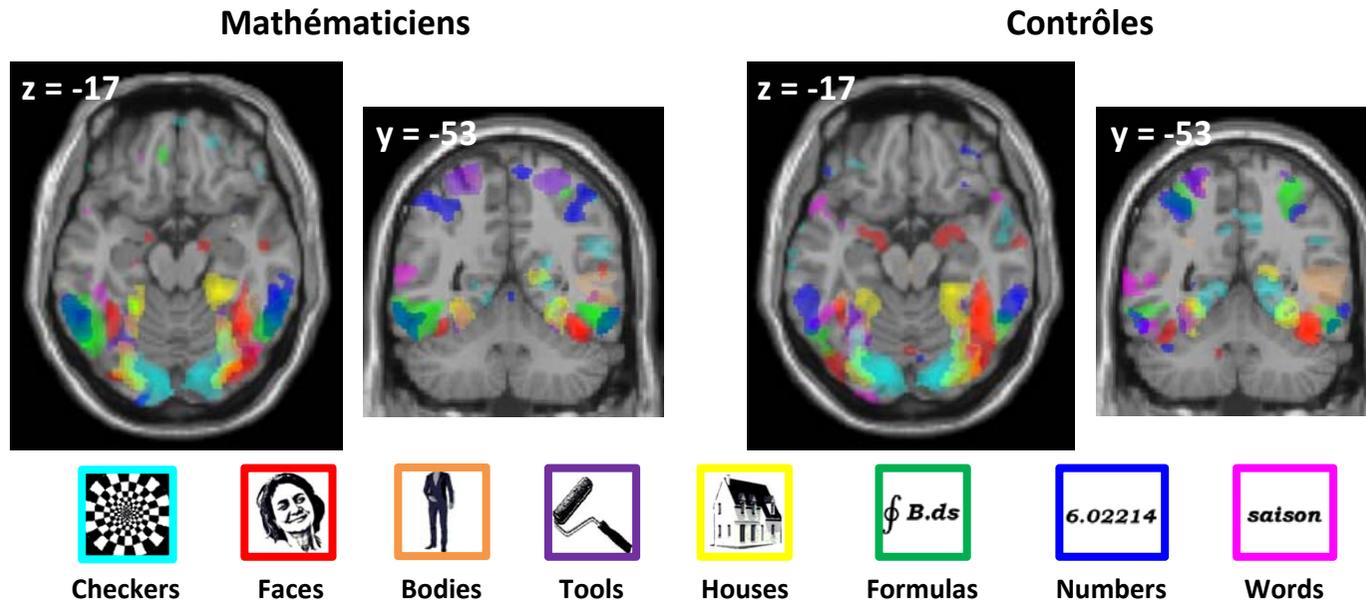




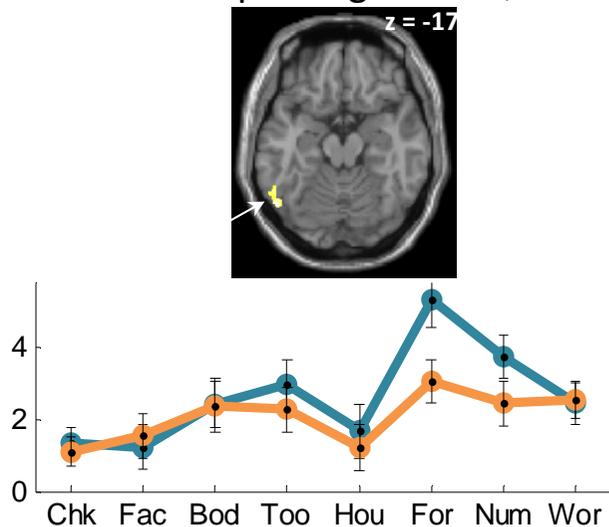
# La réflexion mathématique de haut niveau “recycle” le réseau d’aires cérébrales impliqué dans les nombres et l’arithmétique



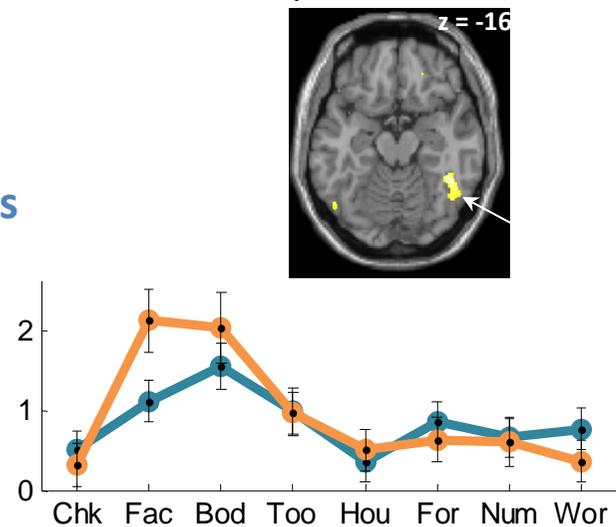
# La voie visuelle ventrale est modifiée chez les mathématiciens



Réponse augmentée aux formules mathématiques dans l'hémisphère gauche (-53, -64, -17)



Réponse diminuée aux visages dans l'hémisphère droit (44, -45, -16)



## Comment le « sens du nombre » se modifie-t-il au fil de l' apprentissage des mathématiques ?

- Les enfants possèdent, très précocement, un « **sens du nombre** » qui guide l' apprentissage des mathématiques.
  
- La compréhension des **symboles** numériques et des **opérations** arithmétiques simples implique leur **mise en relation** avec cette représentation préexistante du nombre.
  
- Le « sens du nombre » contraint l' apprentissage du calcul:
  - Sa **maturité** détermine la vitesse et la facilité avec laquelle les enfants apprennent les nombres et le calcul.
  - Son **intégrité** est une condition nécessaire à l' apprentissage du calcul normal.



Eugene Carriere (1849-1906). La leçon d'arithmétique

# L'apprentissage des noms de nombres

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36, 155–193.

Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24, 220–251.

Les enfants apprennent vite à **réciter la série des nombres** et développent un certain « savoir-faire » dans le domaine du comptage.

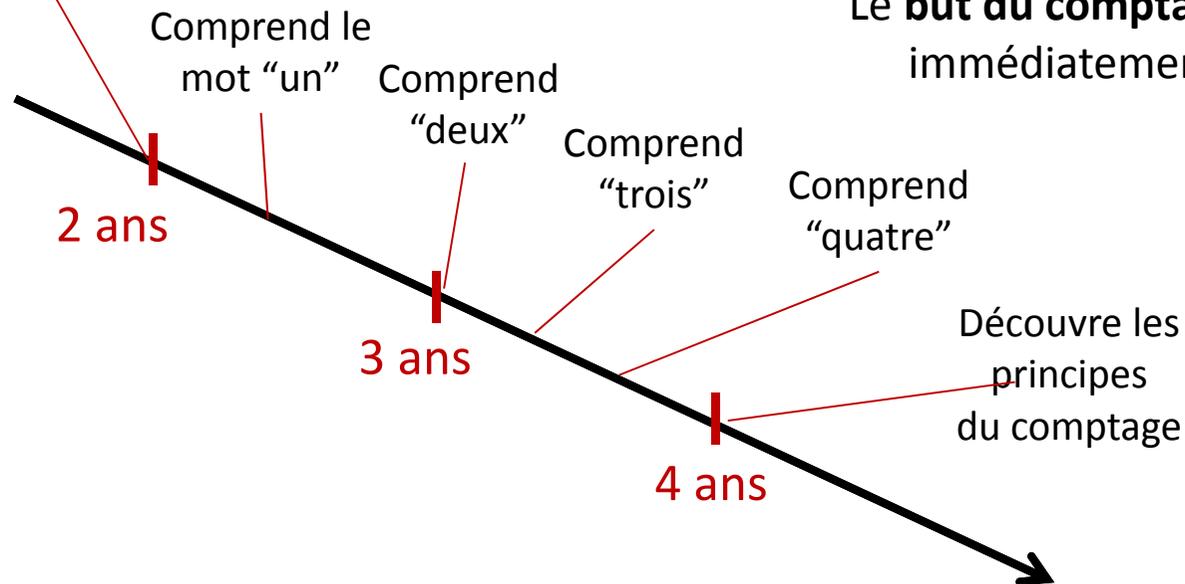
Savoir « compter » ne suffit pas: encore faut-il comprendre le **sens** de cette opération.

Deux tâches («What's on this card?» et « Give me a number») montrent que les jeunes enfants répondent longtemps au hasard ou sur la base d'une approximation très imprécise.

Les noms de nombres font référence à des quantités

L'apprentissage du **sens** des noms de nombres est très lent et strictement séquentiel.

Le **but du comptage** n'est pas immédiatement apparent.

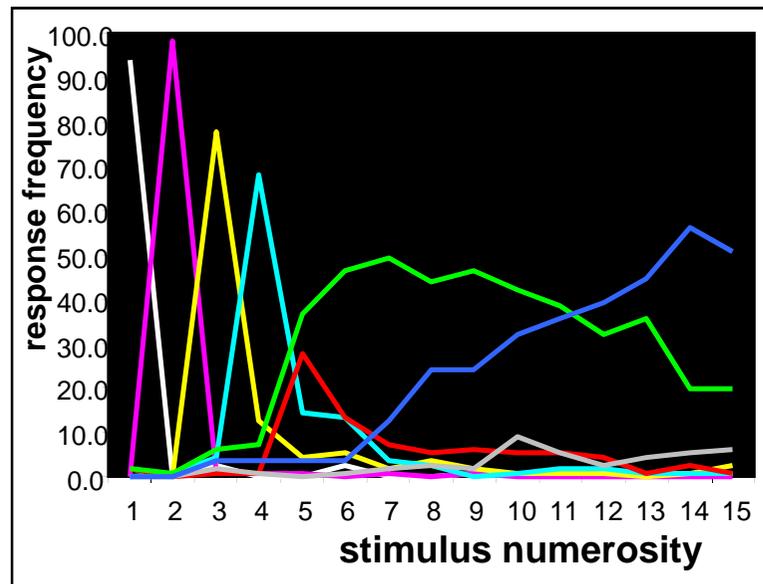




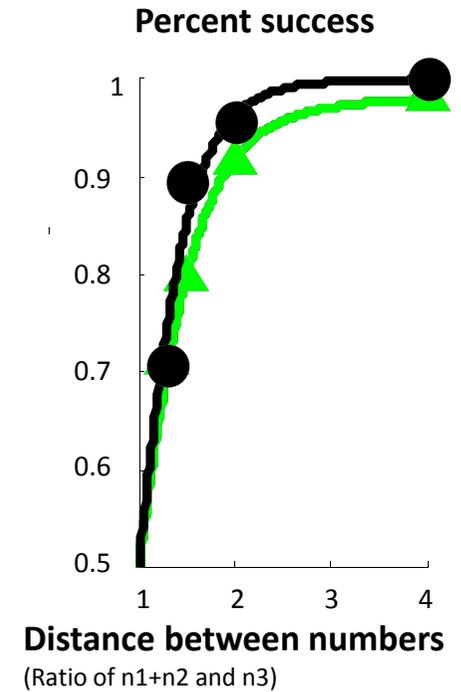
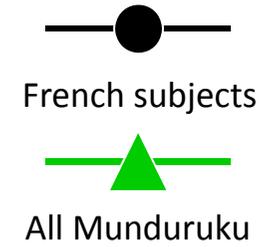
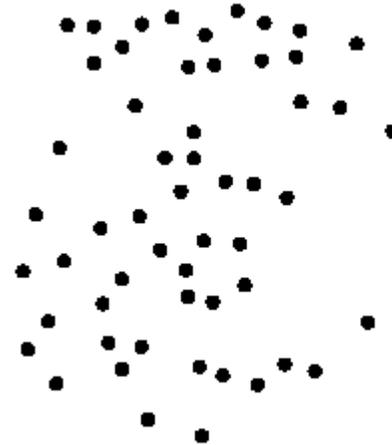
# Cognition numérique en l'absence de mots pour les nombres

Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, Science, 2004

- pug ma = un
- xep xep = deux
- ebapug = trois
- ebadipdip = quatre
- pug pōgbi = cinq, une main
- xep xep pōgbi = deux mains
- adesu/ade gu = quelques, peu
- ade/ade ma = beaucoup



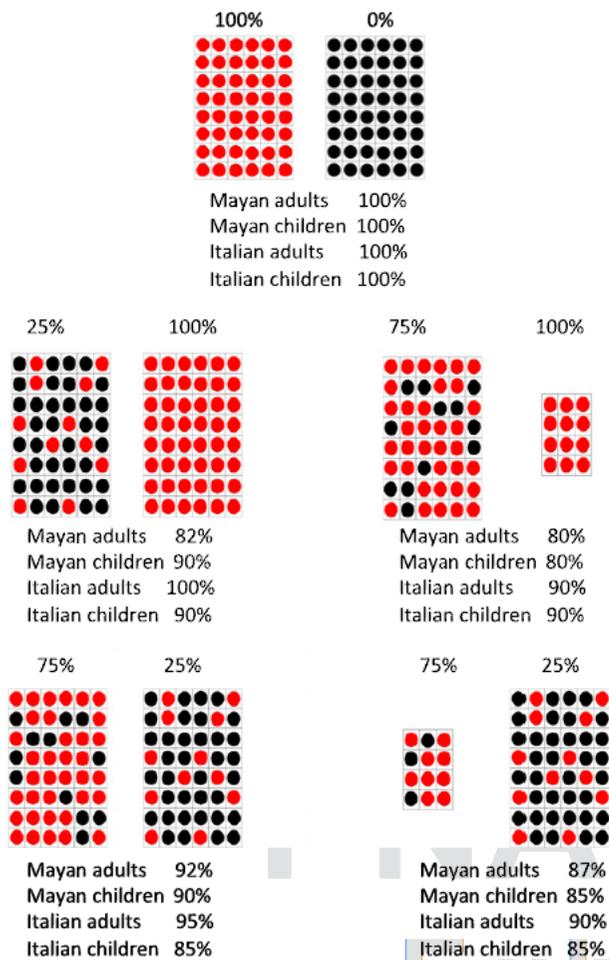
# Succès dans l'approximation d'une addition



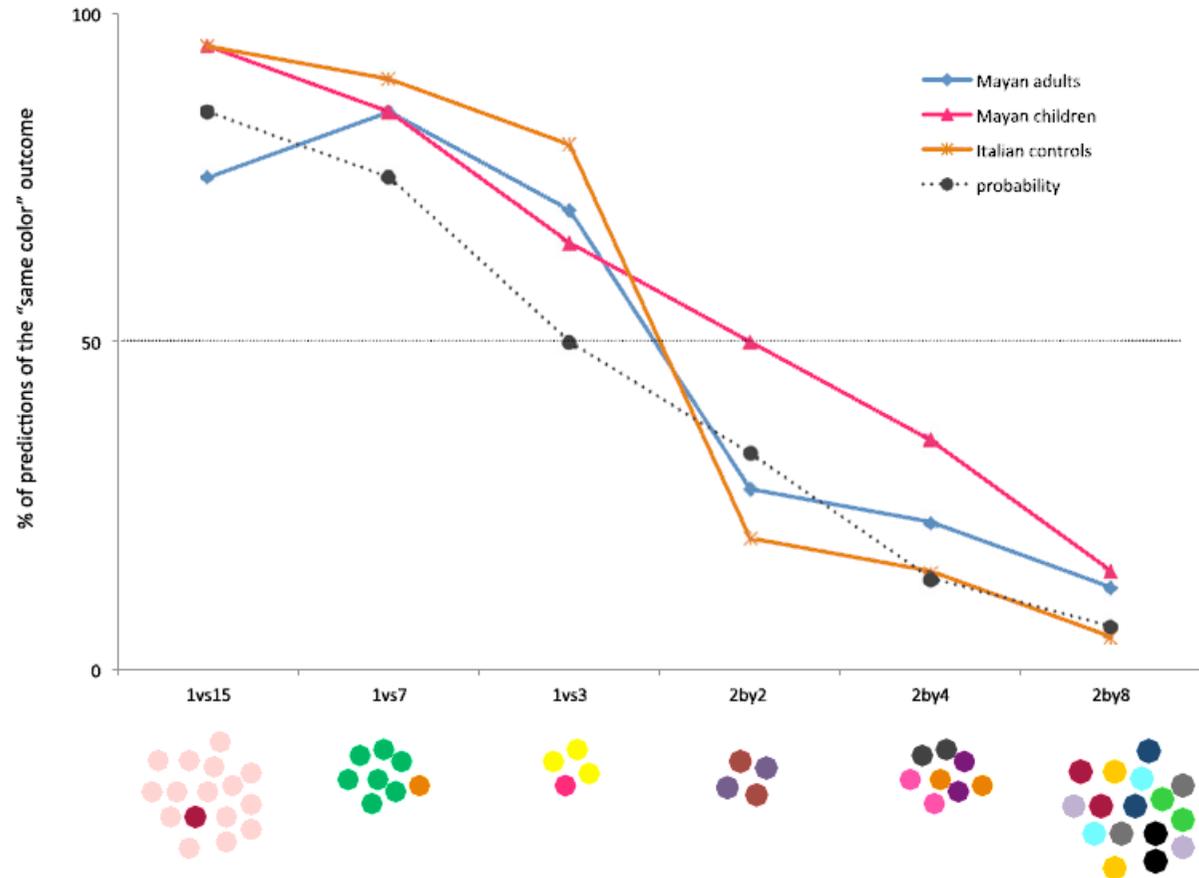
# Le sens des probabilités en l'absence d'éducation mathématique

Fontanari, L., Gonzalez, M., Vallortigara, G., & Girotto, V. (2014). Probabilistic cognition in two indigenous Mayan groups. *PNAS*, 111(48), 17075–17080.

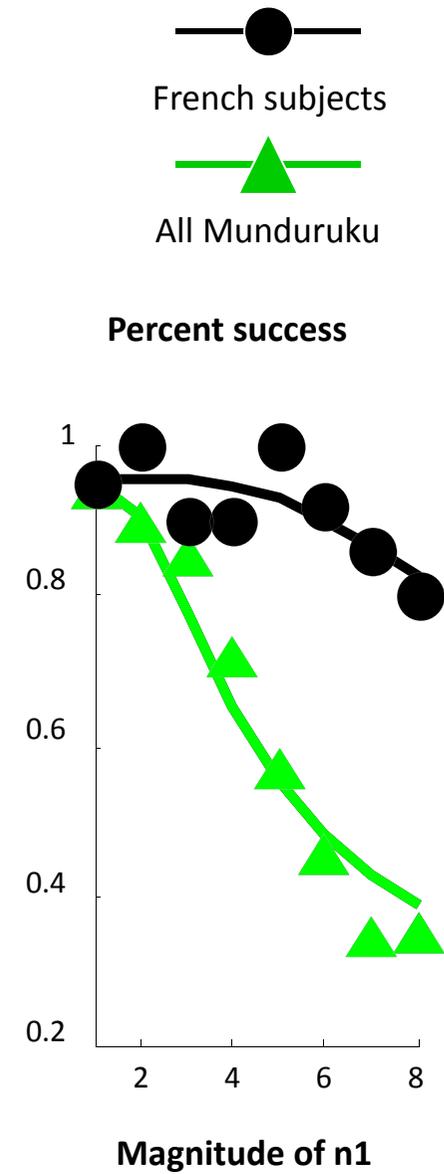
Pensez-vous qu'il y a plus de chance de tirer un pion rouge quand on choisit au hasard dans l'ensemble de droite, ou de gauche?



On tire deux items.  
Pensez-vous qu'ils seront de la même couleur?

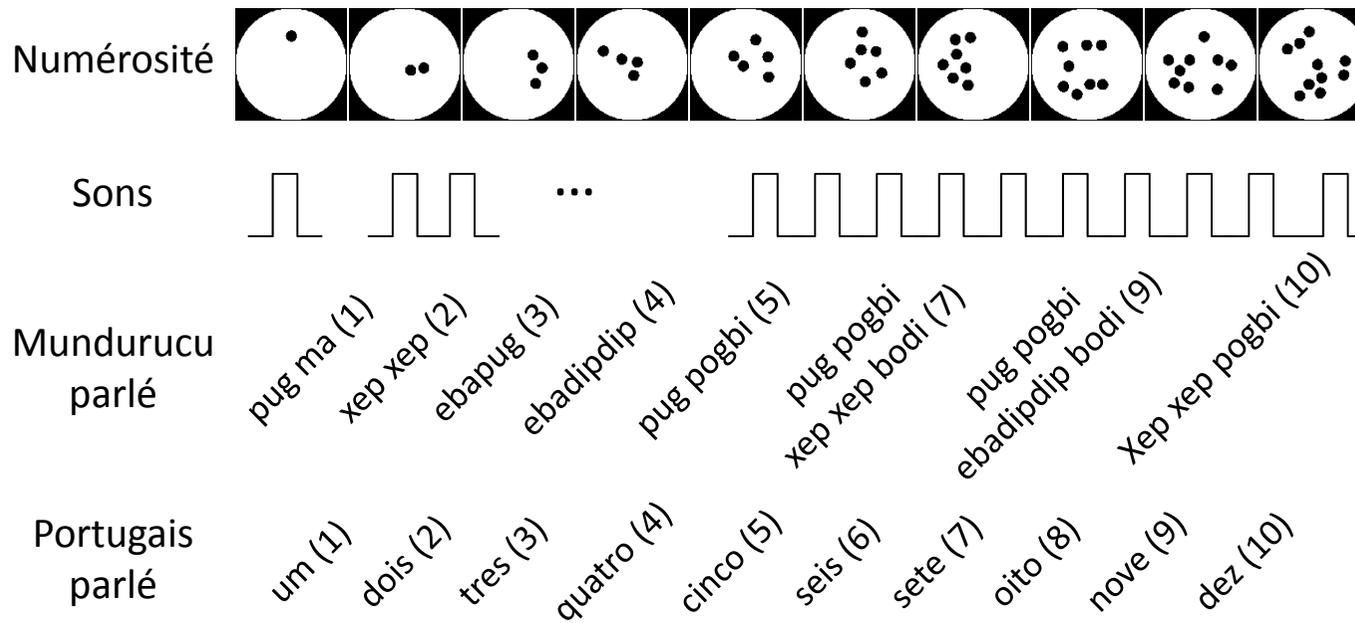
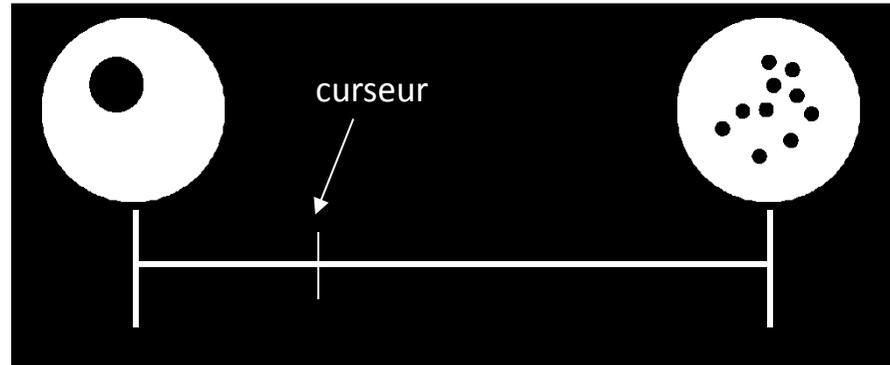


# Echec en soustraction exacte



# Relations nombre-espace chez les Mundurucus

Tâche = Placer chaque nombre sur une échelle spatiale



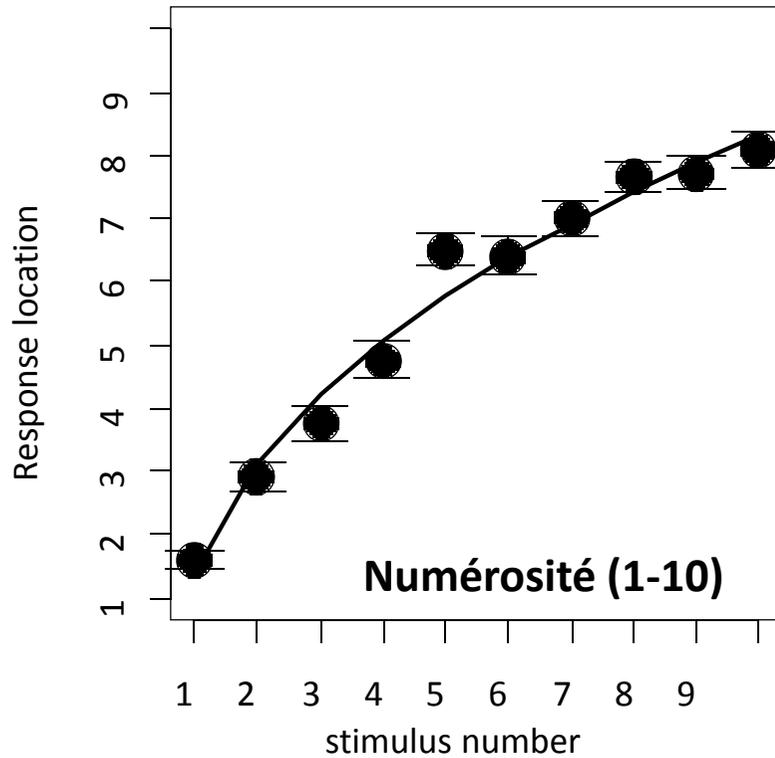
# Relations nombre-espace chez les Mundurucus

Les enfants et les adultes Mundurucus se comportent de façon logarithmique

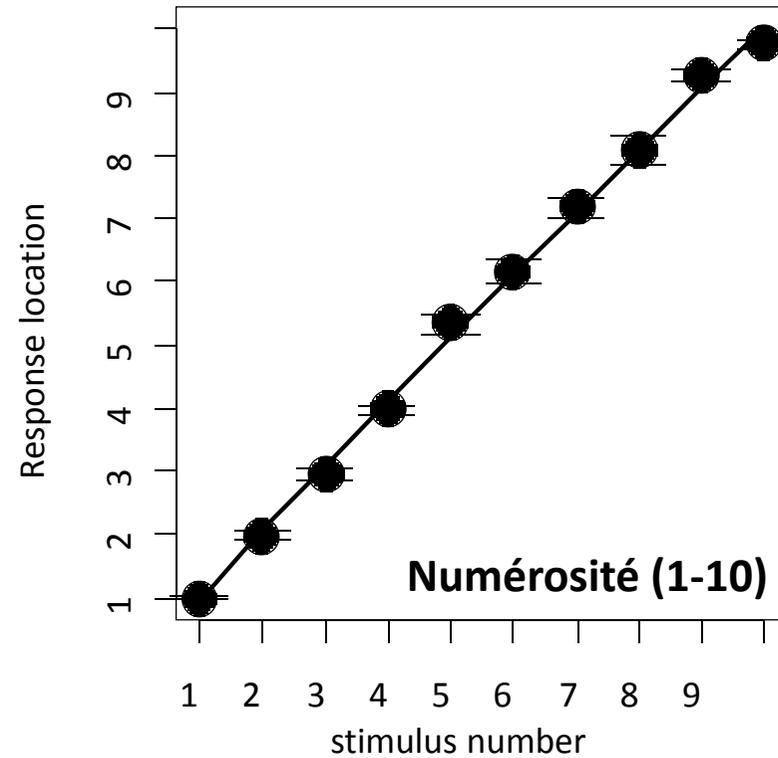
-Pour les numérosités visuelles et auditives

-Et même pour les nombres présentés en Mundurucu et en Portugais

**Mundurucus**



**Sujets contrôles américains**

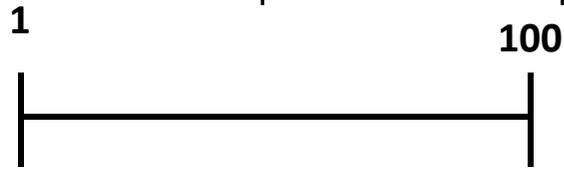


# La nature des liens entre nombre et espace change au cours du développement

Siegler & Opfer, 2003; Siegler & Booth, 2004

Tâche de mise en relation d'un nombre avec une position:

« Indiquez moi où vous placerez le nombre  $n$  »



Un changement radical survient au cours de l'éducation: passage d'une représentation logarithmique à une représentation linéaire

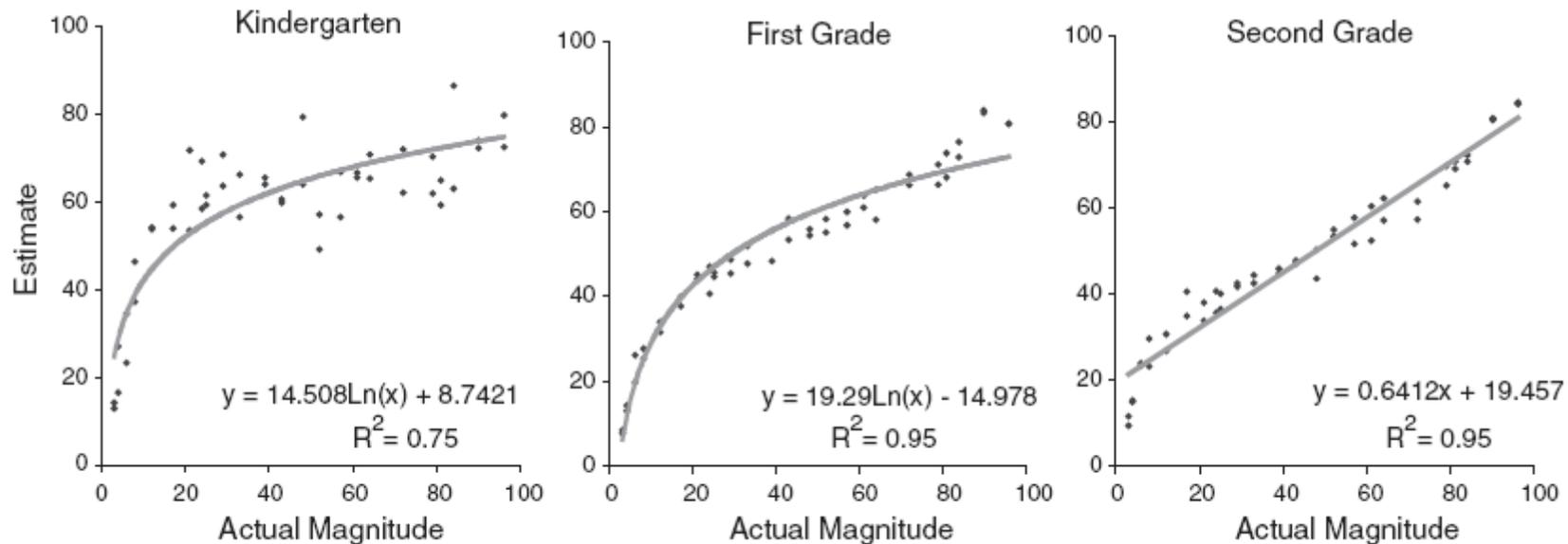


Figure 2. Progression from logarithmic pattern of median estimates among kindergartners (left panel) to linear pattern of estimates among second graders (right panel) in Experiment.

# L'intuition des grands calculs précède l'entrée à l'école

Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447(7144), 589–91.

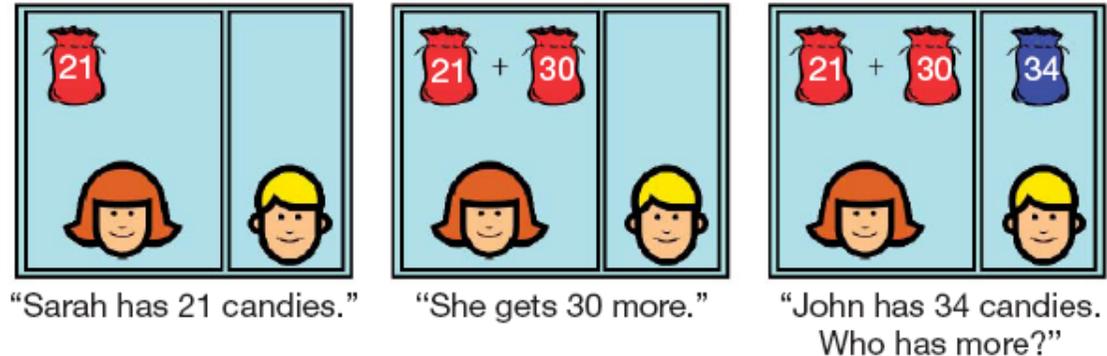
Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115(3), 394–406.

- Enfants de grande maternelle (5 ou 6 ans), de niveau socio-économique favorisé ou défavorisé

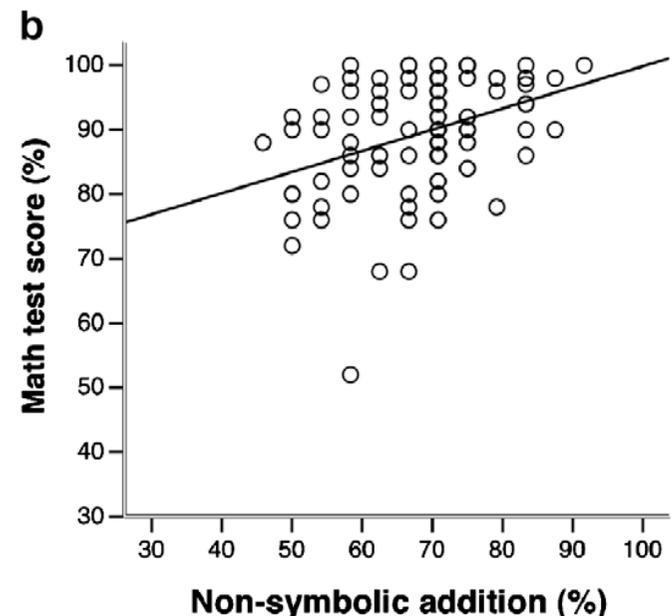
- Tests d'approximation sur des grands nombres et des opérations qui n'avaient jamais enseignées explicitement

- Performances bien supérieures au hasard (60-75%),

- **Les performances prédisent la réussite à des tests standardisés d'arithmétique symbolique en fin d'année.**



Test d'arithmétique en fin d'année



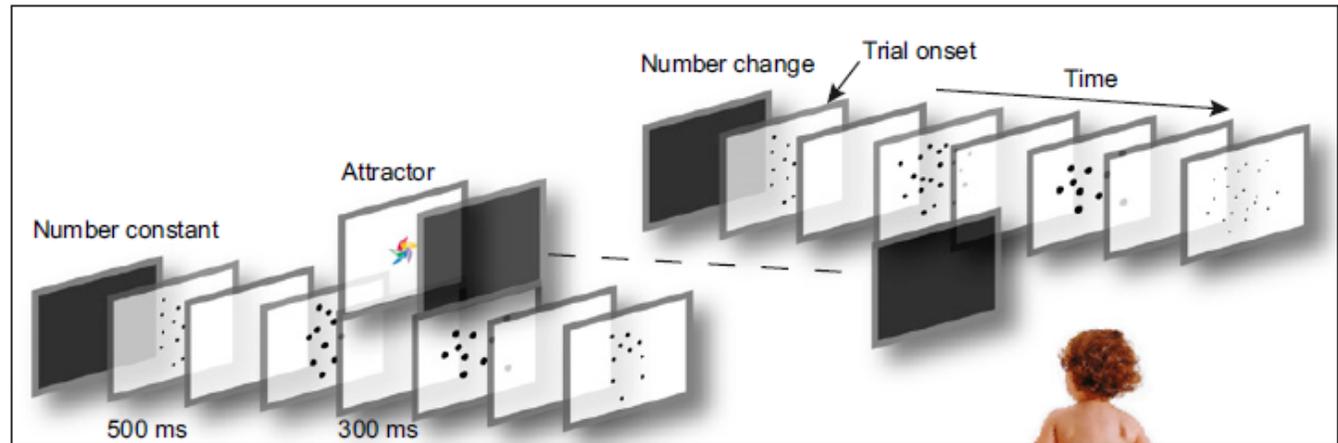
Test d'addition non-symbolique en début d'année.

# La précision du « sens des nombres » corrèle avec les compétences en mathématiques.

Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665–8.

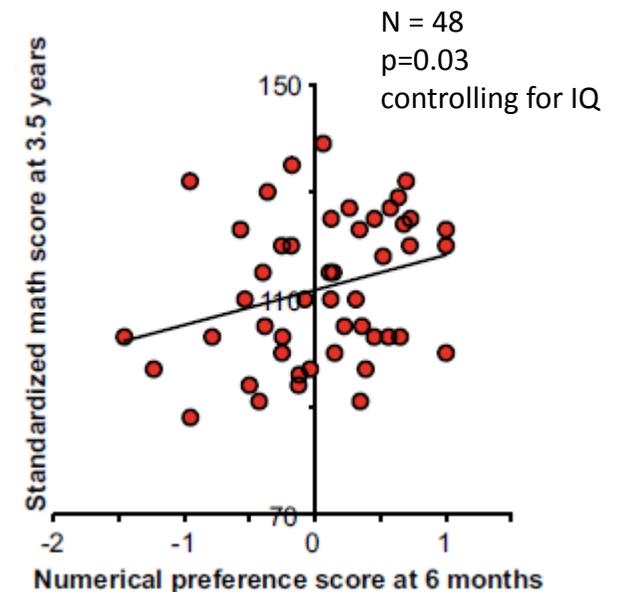
Starr, A., Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2013). Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *PNAS*, 110(45), 18116–18120.

La perception des nombres à l'âge de 14 ans corrèle avec divers tests de mathématiques au cours de la scolarité et jusqu'en maternelle.



Chez l'enfant de 6 mois, on peut déjà mesurer des différences individuelles reproductibles de discrimination des nombres.

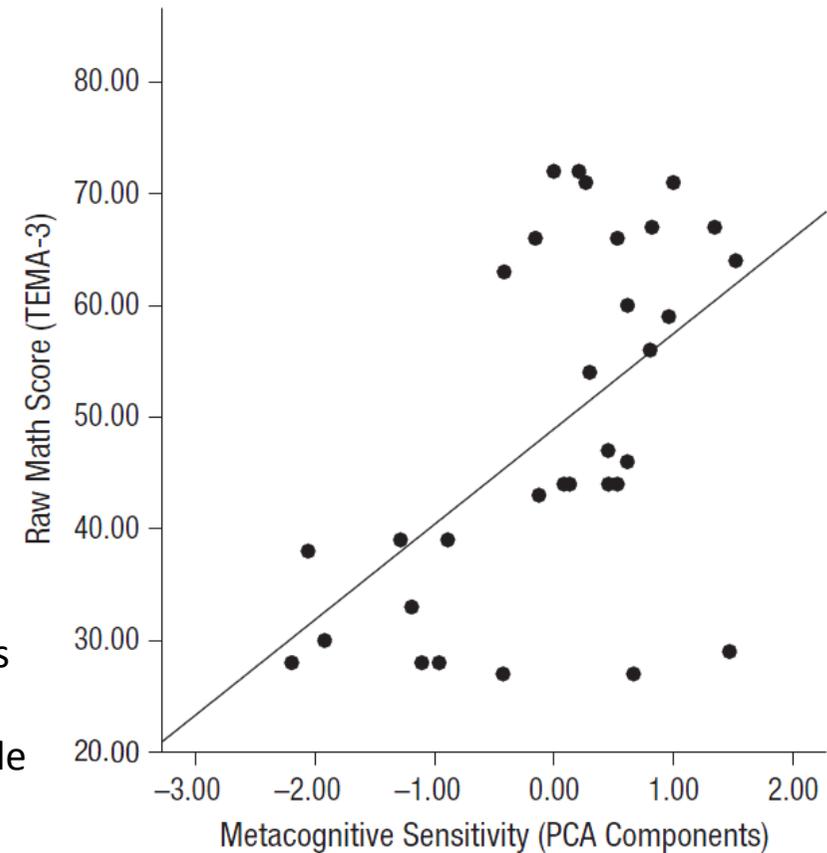
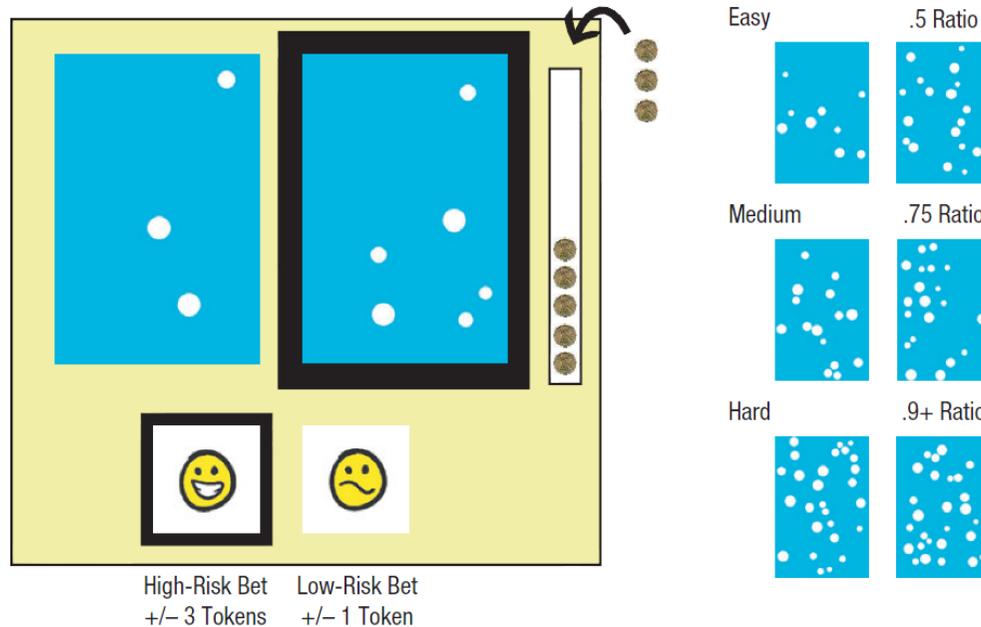
La précision de cette discrimination non-symbolique prédit les scores mathématiques dans des tests symboliques 3 ans plus tard (tests de comptage, de comparaison symbolique, d'écriture et de lecture des nombres, de calcul élémentaire...).



# La métacognition est un élément tout aussi important pour prédire les scores mathématiques

## Young Children Bet on Their Numerical Skills: Metacognition in the Numerical Domain

Vy A. Vo, Rosa Li, Nate Kornell, Alexandre Pouget and Jessica F. Cantlon  
*Psychological Science* published online 27 June 2014

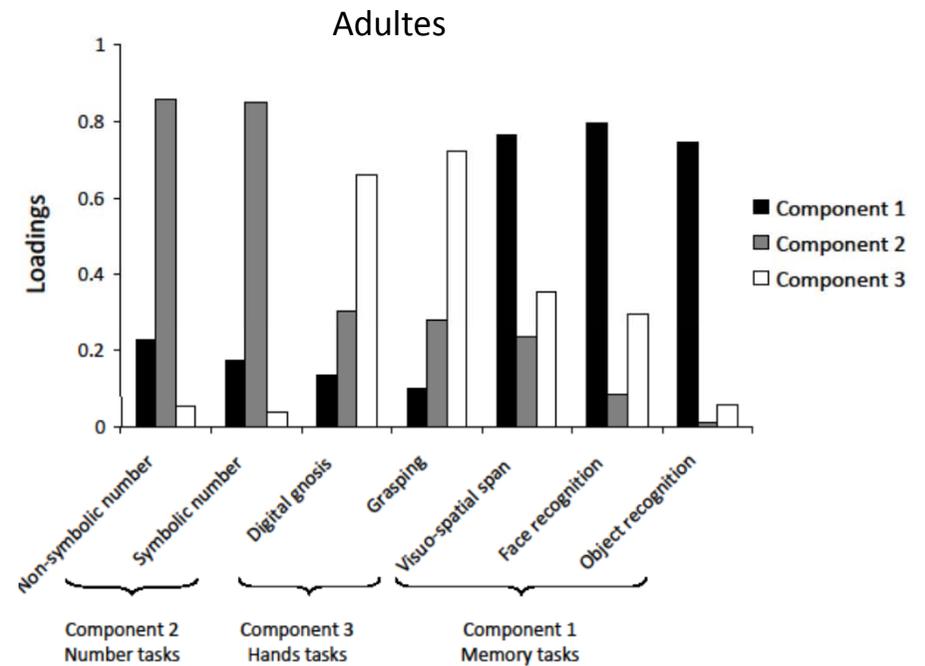
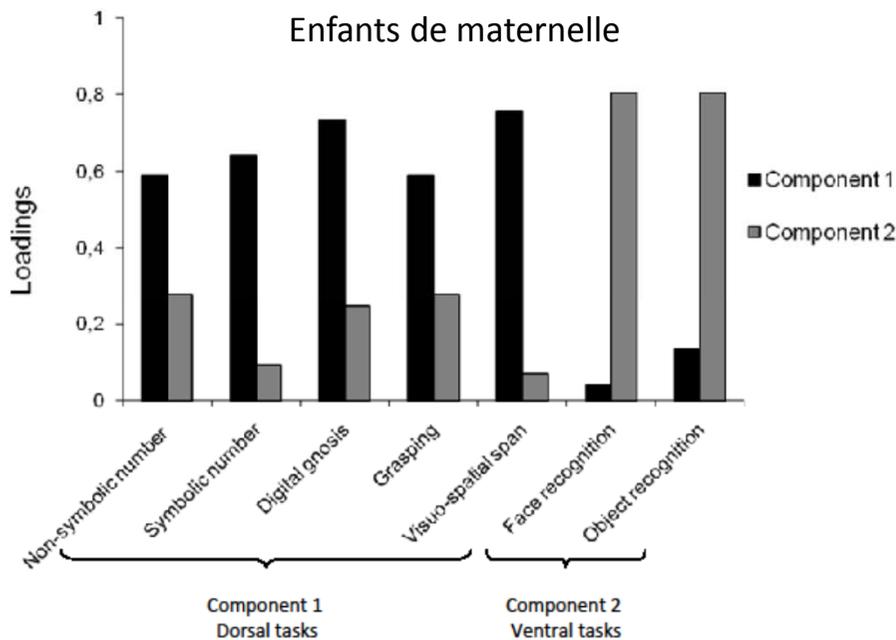
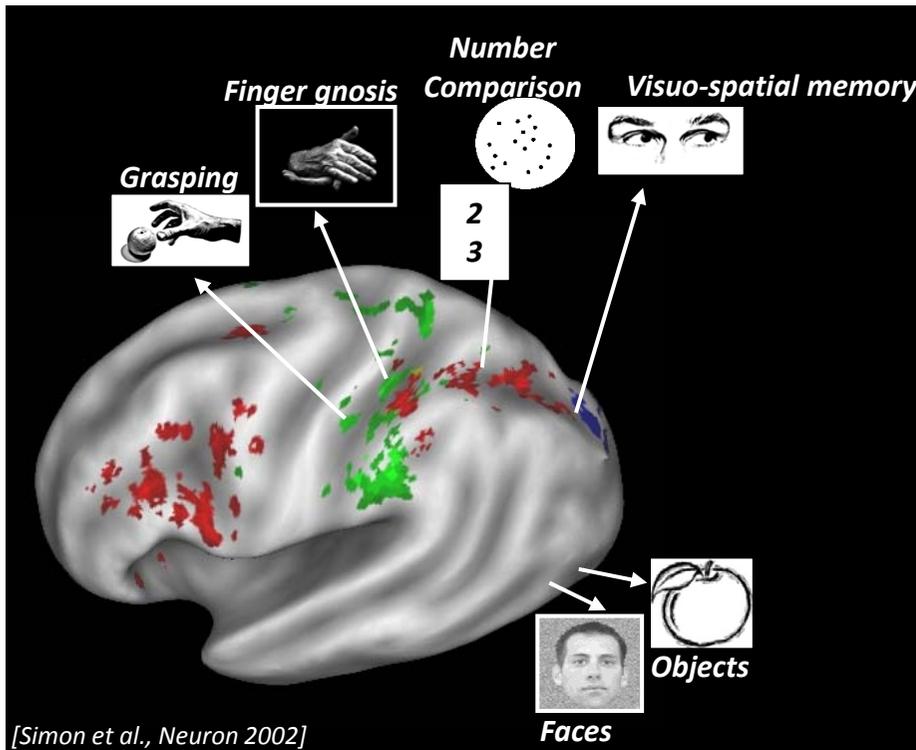


- Les enfants de 5 ans sont capables de parier correctement sur leurs choix numériques. (Pari plus élevé lors des essais corrects; Paris moins élevés lorsque la difficulté augmente).
- La capacité métacognitive prédit la réussite à un test de niveau scolaire en mathématiques. (mais pas la capacité métacognitive dans une tâche de jugement des émotions sur un visage).

# La représentation non-symbolique des nombres corrèle avec les capacités arithmétiques tout au long de la vie

Chinello, A., Cattani, V., Bonfiglioli, C., Dehaene, S., & Piazza, M. (2013). Objects, numbers, fingers, space: clustering of ventral and dorsal functions in young children and adults. *Developmental Science*, 16(3), 377–393.

5 tâches dorsales: mémoire visuo-spatiale (Corsi); comparaison de nombres symboliques ou non-symboliques; connaissance des doigts; saisie d'objets  
 2 tâches "ventrales": reconnaissance de visages et d'objets.  
 → résultat: à tout âge, la proximité des circuits détermine la variabilité inter-individus; Les tâches d'arithmétique symbolique et non-symbolique sont hautement corrélées.



# Lien causal ? L'entraînement du « sens du nombre » améliore les capacités de calcul

Park, J., & Brannon, E. M. (2013). Training the approximate number system improves math proficiency. *Psychological Science*, 24(10), 2013–2019. doi:10.1177/0956797613482944

Park, J., & Brannon, E. M. (2014). Improving arithmetic performance with number sense training: an investigation of underlying mechanism. *Cognition*, 133(1), 188–200. doi:10.1016/j.cognition.2014.06.011

Hyde, D. C., Khanum, S., & Spelke, E. S. (2014). Brief non-symbolic, approximate number practice enhances subsequent exact symbolic arithmetic in children. *Cognition*, 131(1), 92–107. doi:10.1016/j.cognition.2013.12.007

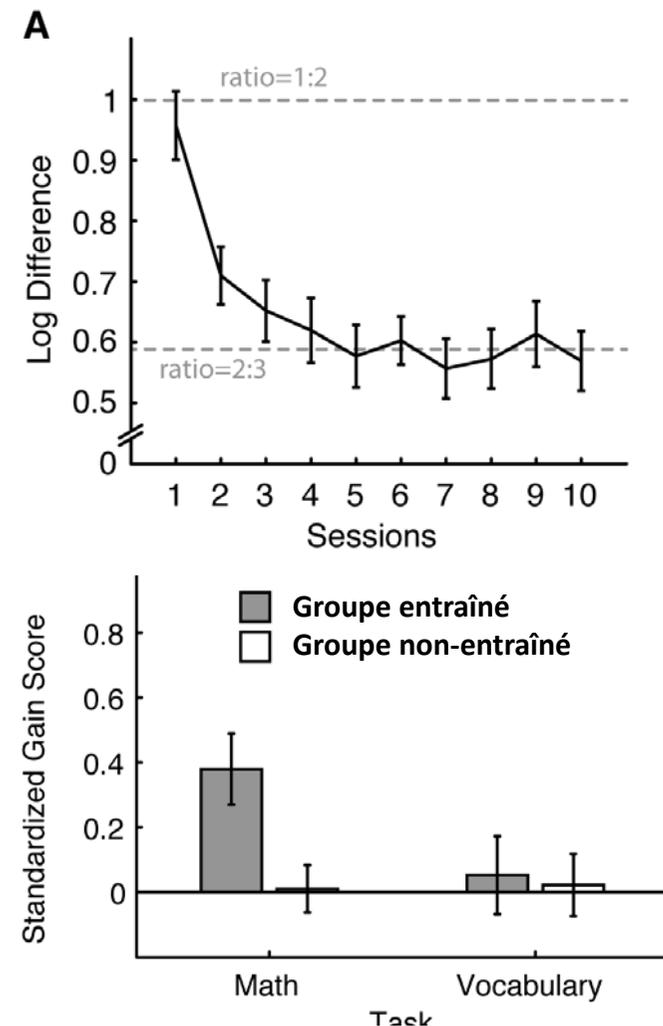
Exemple: l'expérience princeps de Park et Brannon (2013):

26 adultes pratiquent des tâches d'addition et de soustraction non-symbolique pendant 10 sessions. Les quantités sont ajustées en sorte que leur performance reste toujours aux alentours de 80% de réussite.

Leurs performances s'améliorent dans un test ultérieur de calcul à plusieurs chiffres.

Hyde et al (2014) répliquent ce résultat chez l'enfant de 6-7 ans.

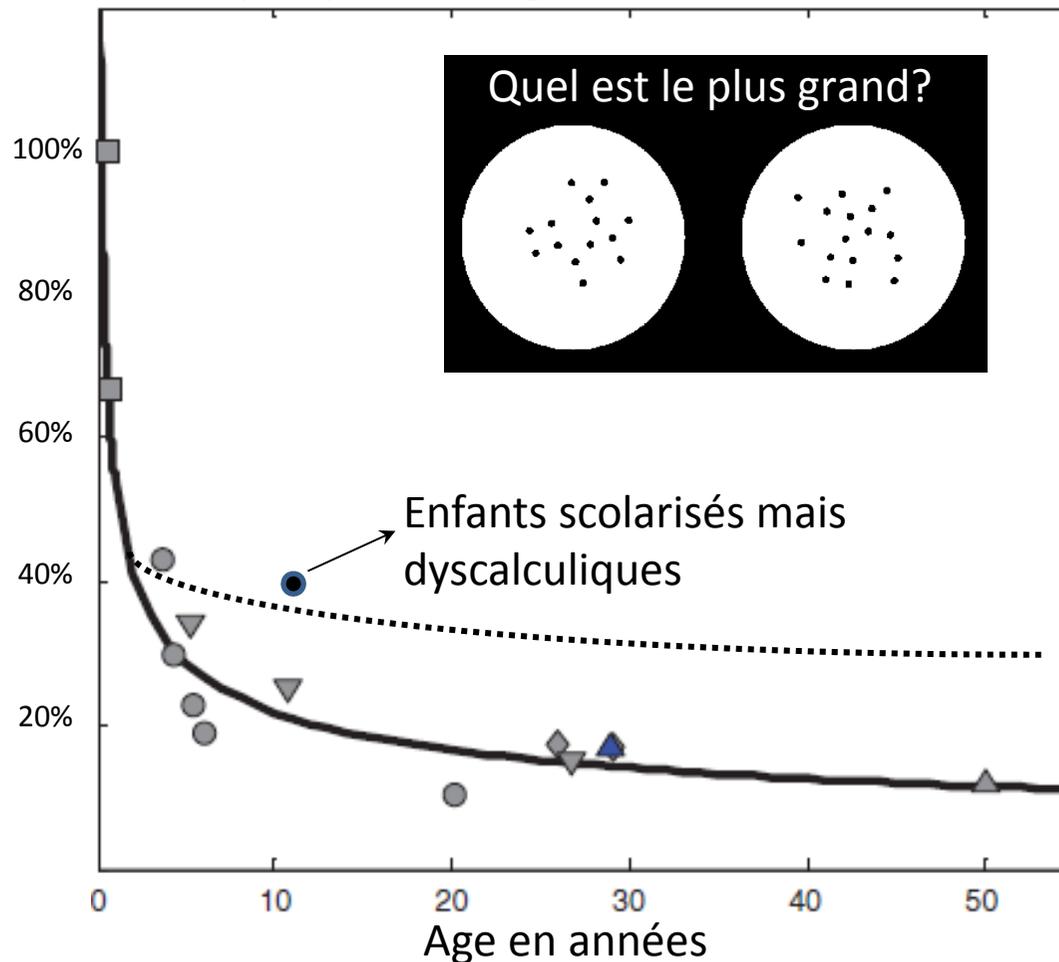
Des expériences ultérieures montrent que l'entraînement aux *opérations numériques* est essentiel: un entraînement à la simple manipulation des *longueurs* ou des *luminances* (Hyde et al., 2014) ou à la seule *comparaison* des nombres (Park & Brannon, 2014) ne suffit pas.



# L'acuité numérique croît avec l'âge et l'éducation. Elle est déficitaire chez les enfants dyscalculiques

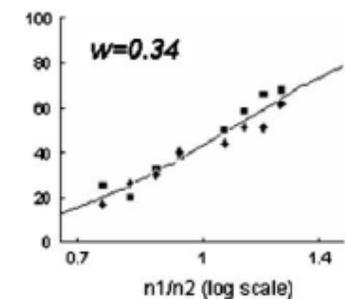
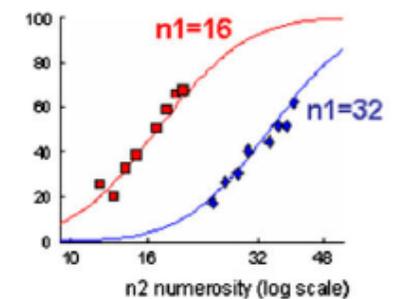
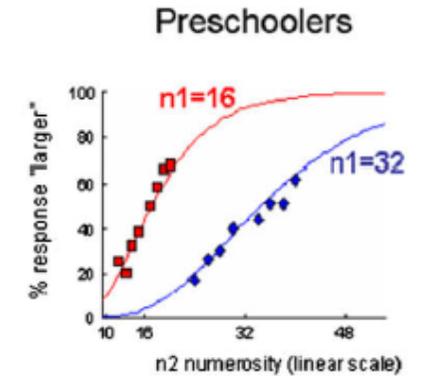
Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., ... Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33–41.  
 Piazza, M., Pica, P., Izard, V., Spelke, E. S., & Dehaene, S. (2013). Education Enhances the Acuity of the Nonverbal Approximate Number System. *Psychological Science*, 24(6), 1037–1043.

Acuité numérique (pourcentage minimum discriminé)



Enfants et adultes non-scolarisés

Enfants et adultes scolarisés



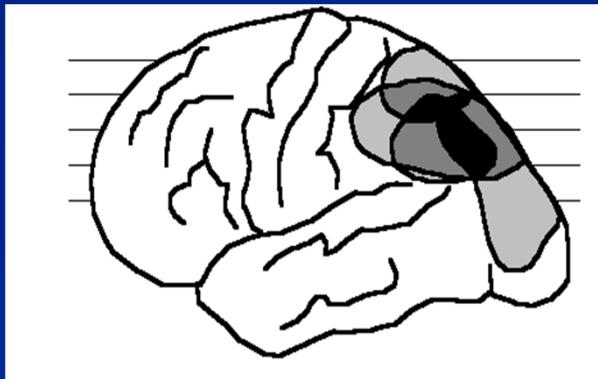
# L'acalculie, la dyscalculie, et le lobe pariétal

## Deux types de déficits

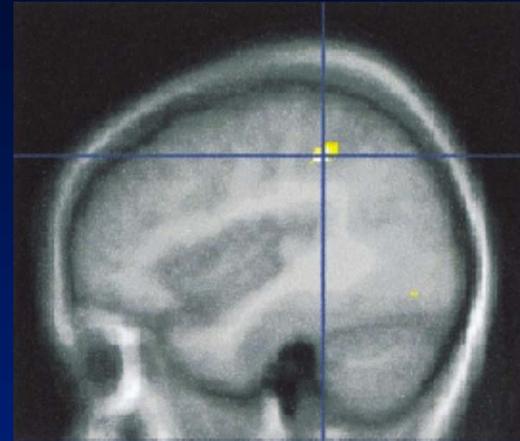
acquis chez  
l'adulte

développemental

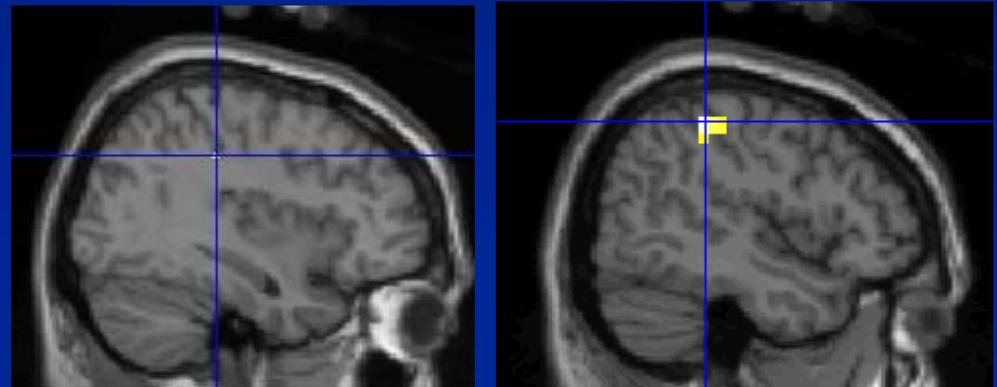
La région intrapariétale gauche:  
site classique de l'acalculie  
[Dehaene et al., *TICS*, 1997]



Réduction de la substance grise  
chez les prématurés dyscalculiques  
[Isaacs et al., *Brain*, 2001]



Anomalies dans la forme et l'activation du sillon  
intrapariétal dans l'acalculie liée au syndrome de Turner  
[Molko et al., *Neuron*, 2003]



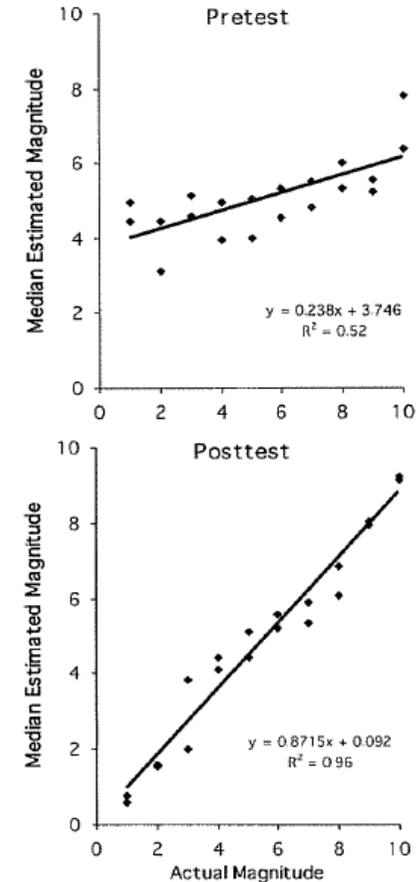
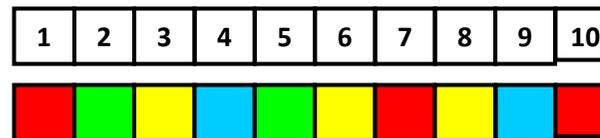
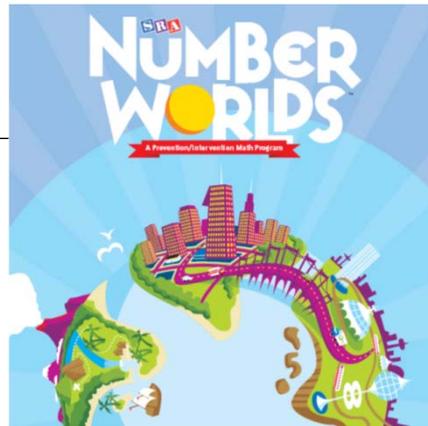
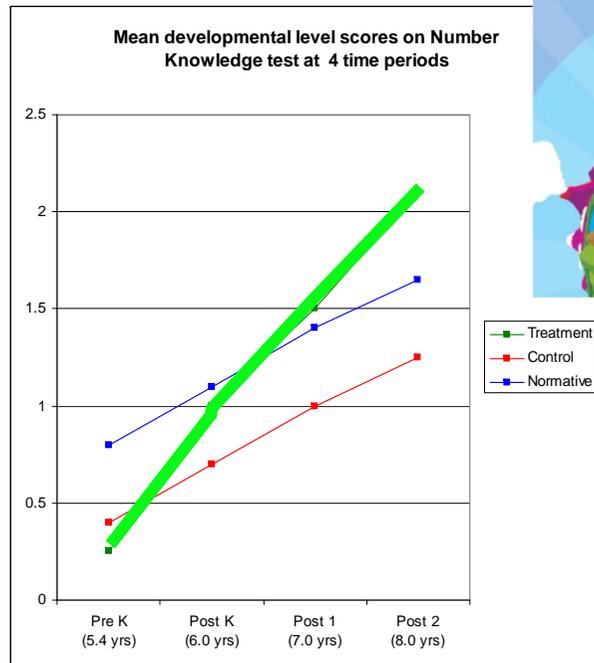
# Les jeux de plateau aident les enfants à risque de dyscalculie

## Griffin & Case (1994, 2004)

Un cursus progressif, comprenant de nombreux jeux mathématiques qui renforcent les liens entre nombre et espace, fait progresser les enfants « à risque » de faible niveau socio-économique

## Ramani & Siegler (2008)

Un court entraînement à la ligne numérique améliore la correspondance entre nombre et espace, la comparaison, l'identification, le comptage (par comparaison à un jeu fondé sur la couleur)



# Deux logiciels pour aider les enfants dyscalculiques

**4+3=7**

**8-6**

Menu

	7
	2

Choix

Aide

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

## La course aux nombres

(développé vec Anna Wilson et l'aide de l'OCDE)

### Principes

- Rendre les quantités numériques plus concrètes et tangibles
- Renforcer les liens entre nombres, espace, mots, et symboles
- Augmenter la motivation des enfants
- Maintenir un niveau de difficulté soutenu, mais pas inaccessible

[www.LaCourseAuxNombres.com](http://www.LaCourseAuxNombres.com)

# Deux logiciels pour aider les enfants dyscalculiques

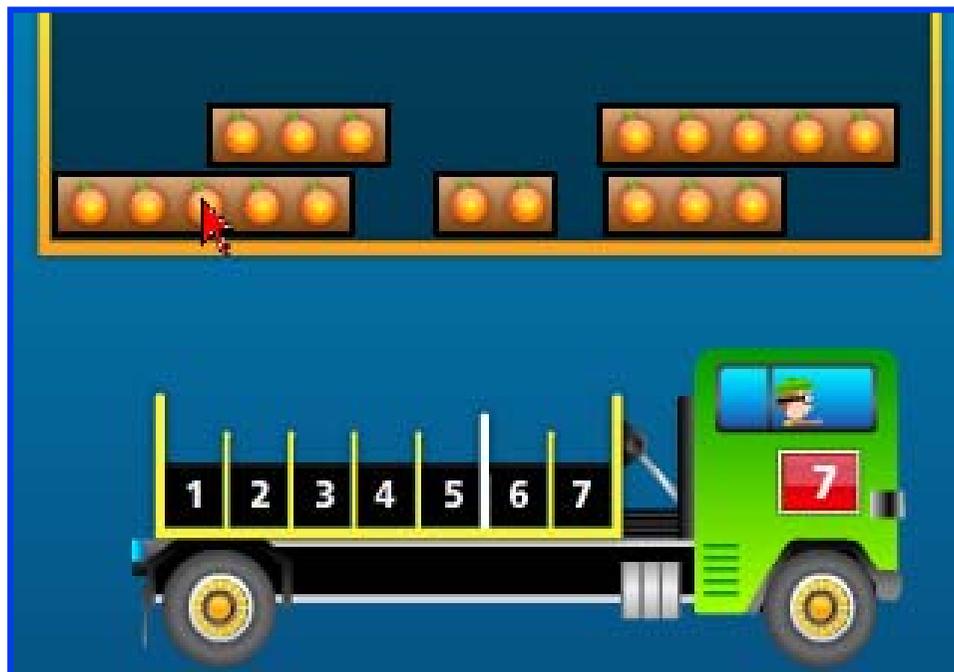


## L'attrape-nombres

(développé avec Dror Dotan et la Fondation Bettencourt-Schueller)

- Nombres à deux chiffres
- Rendre concrets les principes de la base 10
- Automatiser la connaissance des additions et notamment du complément à 10

[www.AttrapeNombres.com](http://www.AttrapeNombres.com)



## Conclusion: quelques implications pour l'éducation

- Les jeunes enfants, bien avant l'entrée à l'école, possèdent déjà des **intuitions proto-mathématiques profondes et abstraites**, qui doivent être utilisées comme « socle » des apprentissages.

- L'enseignement explicite des mathématiques s'appuie sur ces intuitions et les **rend plus précises**, par l'usage de **symboles exacts**.
- Le boulier, le comptage sur les doigts, fournissent des supports utiles à ces intuitions.



- Apprendre à réciter les noms de nombres ne suffit pas: encore faut-il comprendre le **sens** et le **but** du comptage.
- L'apprentissage du **calcul** présente des difficultés pour tous les enfants. Un travail quotidien de mémoire permet de **l'automatiser**, libérant ainsi les ressources cognitives pour des réflexions mathématiques d'ordre supérieur.
- Certaines catégories d'enfants présentent probablement un risque particulier de **dyscalculie** (prématurité, alcoolisation foétale...)
- Des tests cognitifs facilitent le diagnostic des enfants en difficulté en arithmétique
- Les jeux numériques, les jeux de plateau, et certains logiciels éducatifs peuvent être utilisés avec succès chez l'enfant normal et en difficulté.