

Calcul, cerveau et dyscalculie : quelques données classiques et apports récents de la recherche

Michel Habib
CHU de Marseille



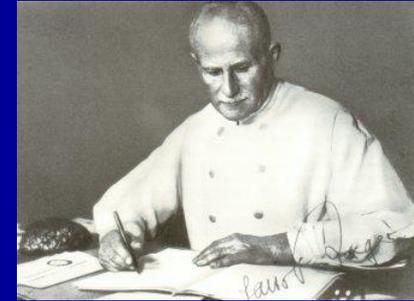
Assistance Publique
Hôpitaux de Marseille





Salomon HENSCHEN (1847-1930)

"cécité numérique" (trouble de la lecture des chiffres),
"agraphie numérique" (trouble de l'écriture des chiffres)
"aphasie pour les chiffres" (trouble de la production orale des chiffres)



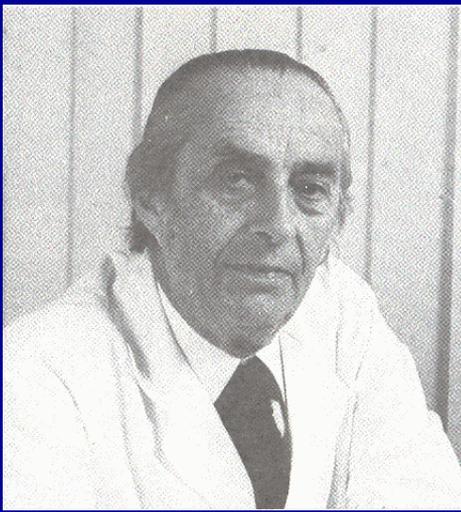
Hans BERGER (1873 - 1941)

acalculie primaire et acalculie secondaire



Karl KLEIST (1879-1961)

alexie et agraphie pour les nombres distinctes de la véritable acalculie
(= trouble du calcul mental sans alexie ni agraphie)
Importance du trouble visuo-spatial



Henri Hécaen (1912-1983)

- Hécaen et al. (1961) : 3 questions principales :
 - la classification des troubles
 - La spécificité des désordres (langage?, gnosies?, intelligence?)
 - La localisation des lésions.
- 183 patients : 3 groupes
 - Acalculie agraphique ou alexique
 - Acalculie spatiale (problèmes dans les calculs écrits, inversions, etc;..)
 - Anarithmétique : procédures du calcul



J. Gerstmann
1887- 1969

- **1924 : femme de 52 ans** admise à la Clinique psychiatrique de Vienne pour des difficultés de mémoire et d'écriture
 - hémianopsie droite, trouble du calcul et un défaut d'orientation pour la droite et la gauche de son propre corps.
 - "agnosie digitale" = perte de la capacité à reconnaître, identifier, différencier, dénommer, sélectionner chacun des doigts de chaque main.
- **1927 : deux autres cas :**
 - acalculie, agraphie, indistinction droite-gauche et agnosie digitale,
 - mais sans hémianopsie (qui devenait dès lors hors syndrome), mais avec une apraxie constructive.

Fingeragnosie. Eine umschriebene Störung der Orientierung am eigenen Körper. Wiener Klin Wochenschr 37:1010–1012 (1924)

Fingeragnosie und isolierte Agraphie; ein neues Syndrom. Z Ges Neurol Psychiat 1927; 108 : 152-77



A pure case of Gerstmann syndrome with a subangular lesion

Eugene Mayer,¹ Marie-Dominique Martory,¹ Alan J. Pegna,¹ Theodor Landis,² Jacqueline Delavelle³ and Jean-Marie Annoni¹

¹Neuropsychology Unit, ²Neurology Clinic and ³Neuroradiology Unit, Department of Radiology, Geneva University Hospital, Switzerland

Correspondence to: Eugene Mayer, Neuropsychology Unit, Neurology Clinic, Geneva University Hospital, 1211 Geneva 14, Switzerland
E-mail: euma@diogenes.hcuge.ch

Summary

The four symptoms composing Gerstmann's syndrome were postulated to result from a common cognitive denominator (Grundstörung) by Gerstmann himself. He suggested that it is a disorder of the body schema restricted to the hand and fingers. The existence of a Grundstörung has since been contested. Here we suggest that a common psychoneurological factor does exist, but should be related to transformations of mental images rather than to the body schema. A patient (H.P.) was studied, who presented the four symptoms of Gerstmann's syndrome in the absence of any other neuropsychological disorders. MRI showed a focal ischaemic lesion, situated subcortically in the inferior part of the left angular gyrus and reaching the superior posterior region of T1. The cortical layers were spared and the lesion was seen to extend to the

callosal fibres. On the basis of an extensive cognitive investigation, language, praxis, memory and intelligence disorders were excluded. The four remaining symptoms (finger agnosia, agraphia, right–left disorientation and dyscalculia) were investigated thoroughly with the aim of determining any characteristics that they might share. Detailed analyses of the tetrad showed that the impairment was consistently attributable to disorders of a spatial nature. Furthermore, cognitive tests necessitating mental rotation were equally shown to be impaired, confirming the essentially visuospatial origin of the disturbance. In the light of this report, the common cognitive denominator is hypothesized to be an impairment in mental manipulation of images and not in body schema.

A Disconnection Account of Gerstmann Syndrome: Functional Neuroanatomy Evidence

Elena Rusconi, PhD,^{1,2} Philippe Pinel, PhD,^{1,3,4} Evelyn Eger, MD,^{1,3,4} Denis LeBihan, MD, PhD,^{3,4} Bertrand Thirion, PhD,³ Stanislas Dehaene, PhD,^{1,3,4} and Andreas Kleinschmidt, MD, PhD^{1,3,4}

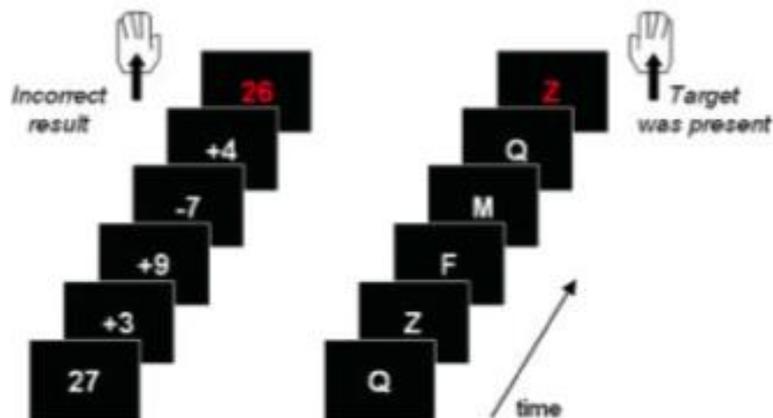
Objective: To examine the functional neuroanatomy that could account for pure Gerstmann syndrome, which is the selective association of acalculia, finger agnosia, left-right disorientation, and agraphia.

Methods: We used structural and functional neuroimaging at high spatial resolution in healthy subjects to seek a shared cortical substrate of the *Grundstörung* posited by Gerstmann, ie, a common functional denominator accounting for this clinical tetrad. We construed a functional activation paradigm that mirrors each of the four clinical deficits in Gerstmann syndrome and determined cortical activation patterns. We then applied fiber tracking to diffusion tensor images and used cortical activation foci in the four functional domains as seed regions.

Results: None of the subjects showed parietal overlap of cortical activation patterns from the four cognitive domains. In every subject, however, the parietal activation patterns across all four domains consistently connected to a small region of subcortical parietal white matter at a location that is congruent with the lesion in a well-documented case of pure Gerstmann syndrome.

Interpretation: Our functional neuroimaging findings are not in agreement with Gerstmann's postulate of damage to a common cognitive function underpinning clinical semiology. Our evidence from intact functional neuroanatomy suggests that pure forms of Gerstmann's tetrad do not arise from lesion to a shared cortical substrate but from intraparietal disconnection after damage to a focal region of subcortical white matter.

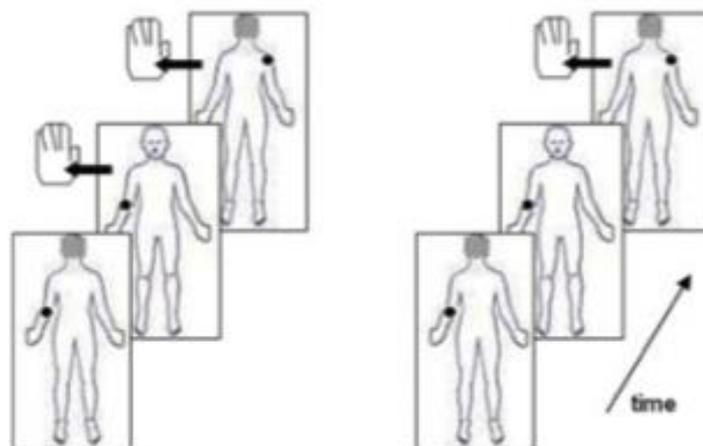
Calculation



Experimental task: mental adding and subtracting and result matching

Control task: letter memorisation and target matching

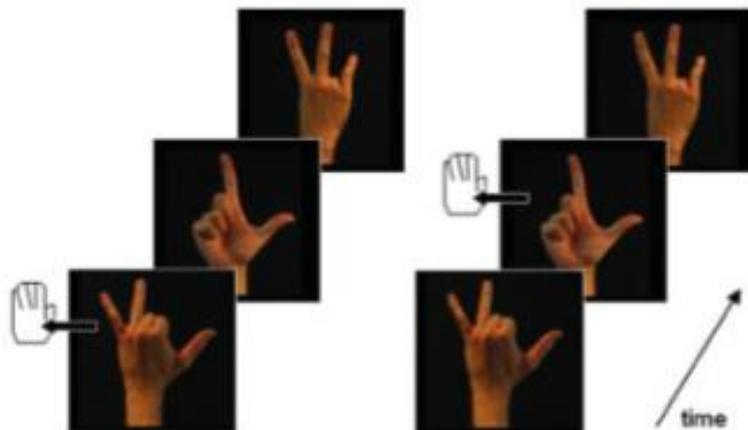
Left/Right Orientation



Experimental task: detection of a dot on the right side of the manikin

Control task: detection of a right-hand dot from the observer's point of view

Finger Gnosis



Experimental task: detection of an extended ring finger

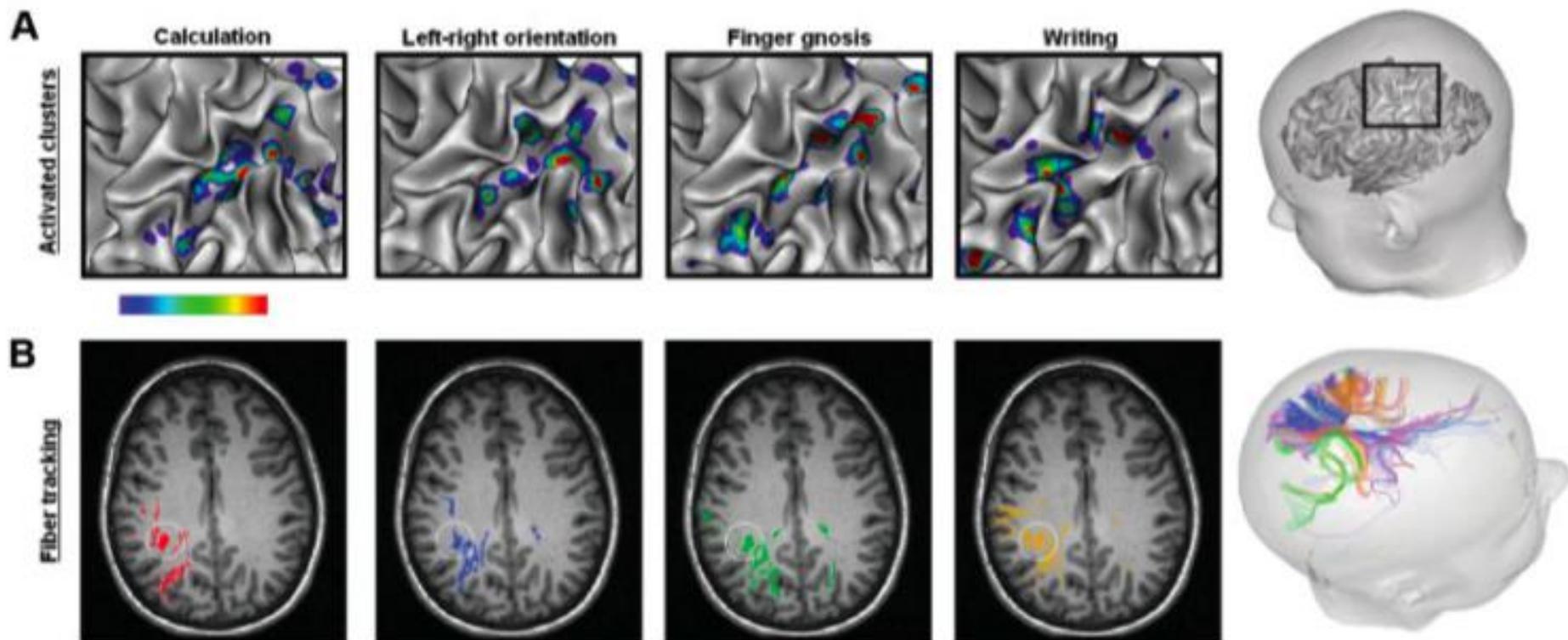
Control task: detection of a visible palm

Writing



Experimental task: write pseudowords to dictation

Control task: hatch during pseudowords presentation



I/ A la recherche d'un modèle
neuropsychologique



Modèle de Séron et Deloche, 1987 : un modèle de transcodage

- Observation de patients adultes acalculiques après lésion cérébrale
- Erreurs de type lexical ou syntaxique
 - Deux cent quatre transcrit : 209; 3005 transcrit huit mille cinq
 - Deux cent quarante quatre transcrit : 200404; 204 lu deux mille quatre
- Le lexique est partagé en trois classes distinctes : les unités, les particuliers et les dizaines chaque nombre occupe une place propre dans chacune de ces trois classes
 - La troisième place est occupée par 3 dans la classe des unités, 13 pour les particuliers et 30 pour les dizaines
 - 12, 13 et 15 occupent des places distinctes dans une même classe



Les patients peuvent se tromper de classe mais pas de place ou vice-versa

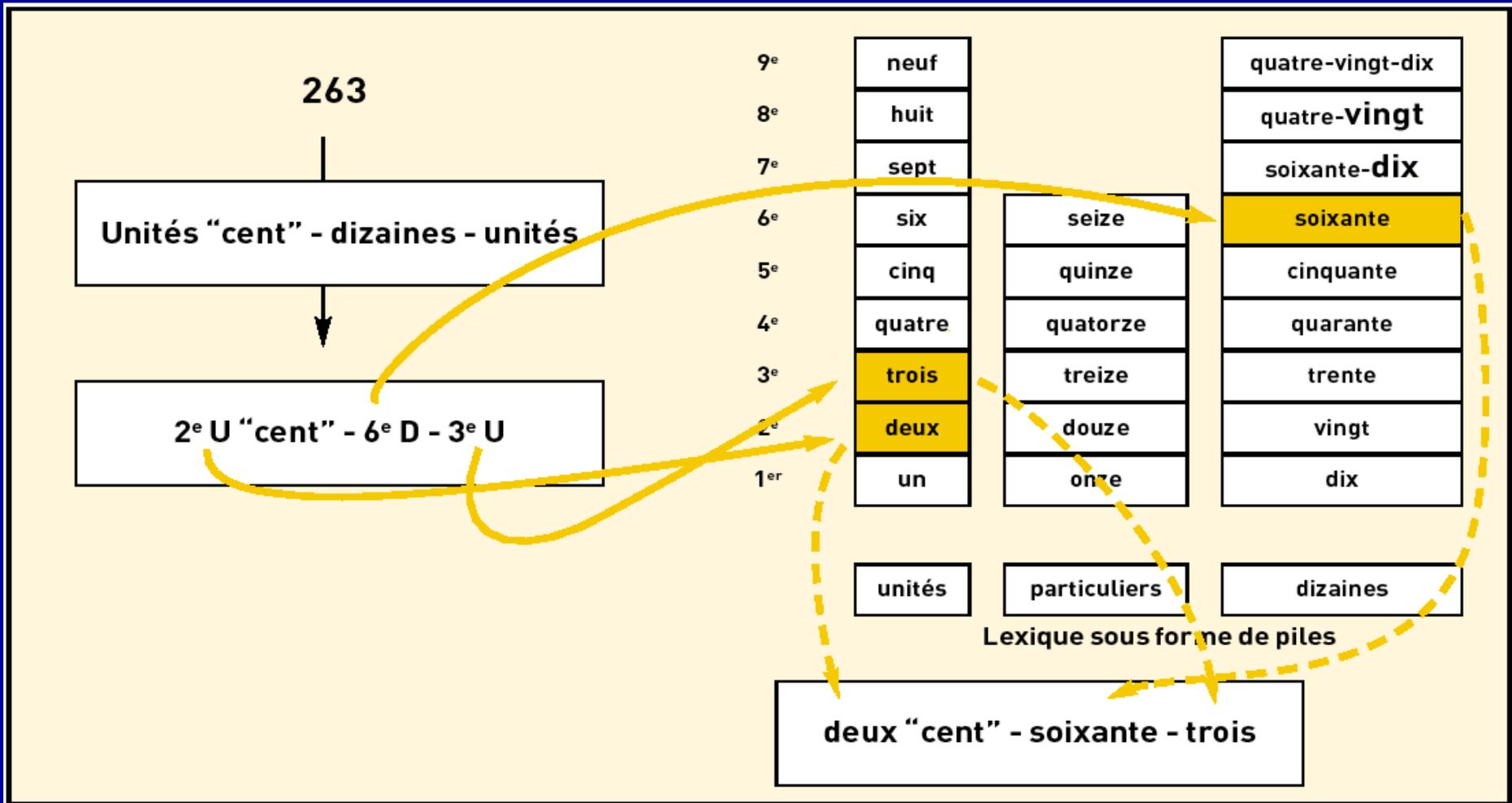
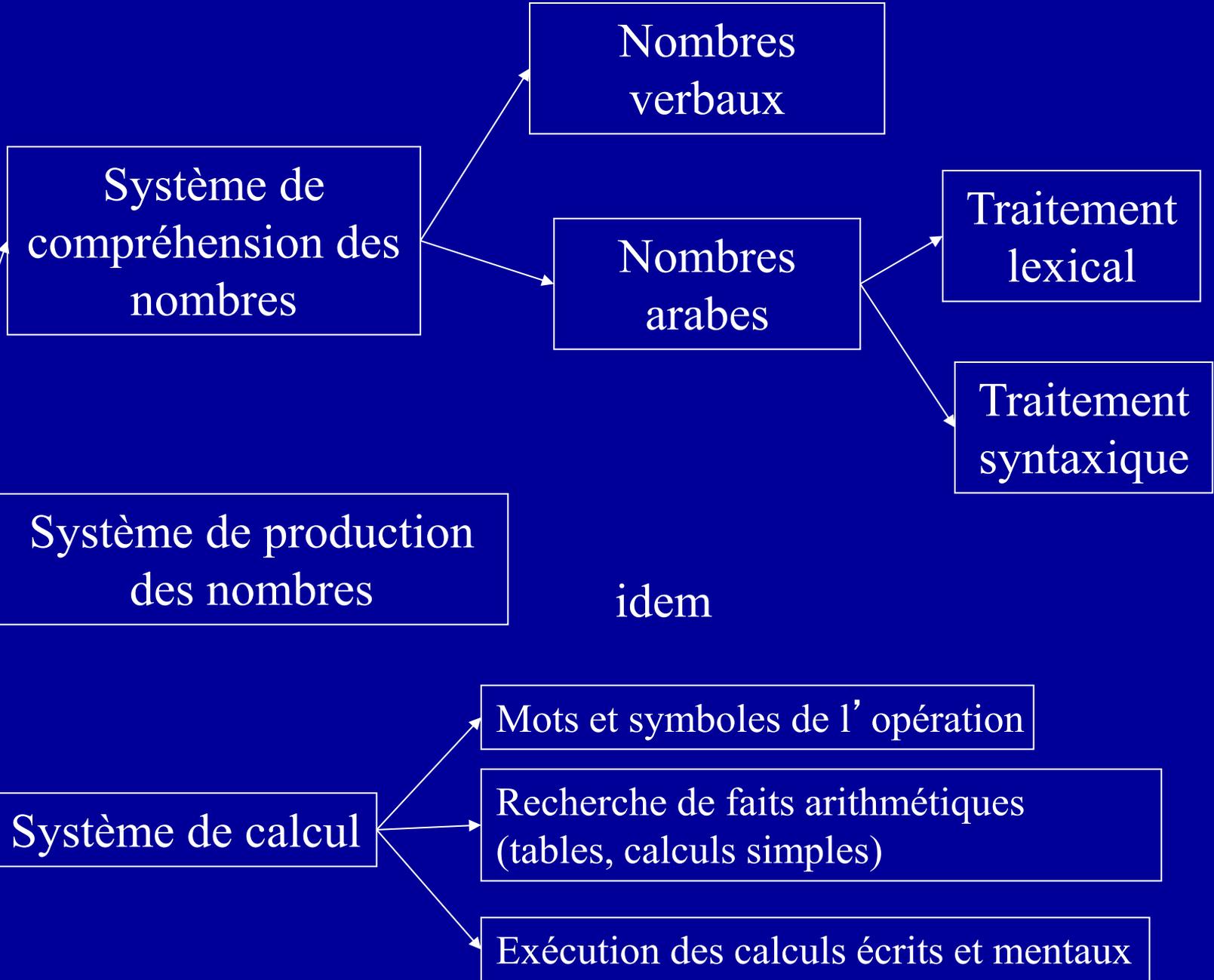
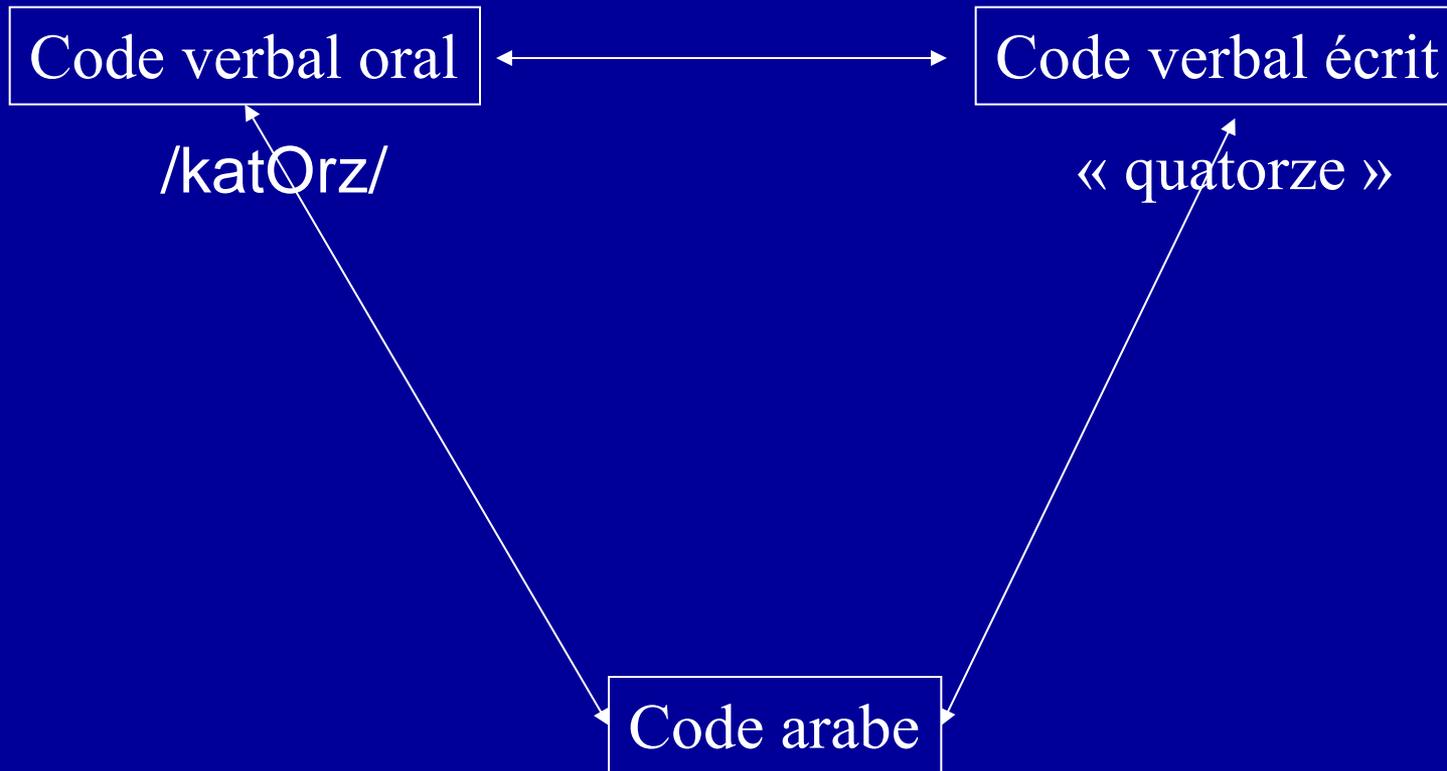


Figure 1 - Aspect cognitif de la lecture à haute voix du nombre "263".

SYSTÈME SÉMANTIQUE





14

→ Batterie d'examen clinique de chaque code et de chaque transcodage

Modèle de Mc Closkey : justification

- Déficit isolé de la production des nombres arabes : McCloskey et al., 1985 : sujet H.Y.: fait 15% d'erreurs (p.e. : 902 lu « neuf six cent »). Aucun problème de compréhension des nombres lus (comparaisons de magnitudes, vérification de problèmes)
- Déficit isolé de la reconnaissance des signes opératoires : Ferro et Botelho, 1980 : reconnaît tous les nombres et les symboles non numériques, mais pas les signes opératoires (d'où difficultés majeures dans les calculs posés)
- Déficit isolé de la récupération des faits arithmétiques : Warrington, 1982 : cas DRC : traitement des nombres et procédures mathématiques: intacts. Egalement dissociation inverse : respect des faits arithmétiques



Modèle sémantique par opposition au modèle asémantique de Deloche et Séron

Modèle de Mc Closkey

SYSTÈMES DE CALCUL

Traitement des mots ou
des symboles
opérateurs

Procédures de calcul

Stock des faits
arithmétiques

Lexique
graphémique

Lexique
phonologique

Syntaxe du
système verbal

Lexique arabe

Syntaxe du
système arabe

Représentation
sémantique

Lexique
graphémique

Lexique
phonologique

Syntaxe du
système verbal

Lexique arabe

Syntaxe du
système arabe

COMPRÉHENSION DES NOMBRES

PRODUCTION DES NOMBRES

TWO MENTAL CALCULATION SYSTEMS: A CASE STUDY OF SEVERE ACALCULIA WITH PRESERVED APPROXIMATION

STANISLAS DEHAENE* and LAURENT COHEN†

*INSERM & CNRS Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, 54 Bd Raspail, F-75250 Paris cedex 06, France and †Clinique des Maladies du Système Nerveux, Pavillon Charcot, Hôpital de la Salpêtrière, 47 Bd de l'Hôpital, 75651 Paris cedex 13, France

(Received 5 April 1990; accepted 3 July 1991)

- Calcul exact versus calcul approché.
- "M. Nau" (Dehaene & Cohen, 1991) :
- aphasique + dyslexie profonde
 - Acalculie massive : ne peut dire « $2 \times 2 = ?$ »
 - Peut faire un calcul approximatif : écarte immédiatement " $2+2=9$ ", choisit la réponse la plus plausible entre " $3+5=4$ ou 9 "
 - Aucune difficulté à donner des réponses approchées : une année comprend environ 350 jours, neuf enfants dans une classe c' est peu, une douzaine "c'est 6 ou 10"
 - Hypothèse de l'hémisphère droit

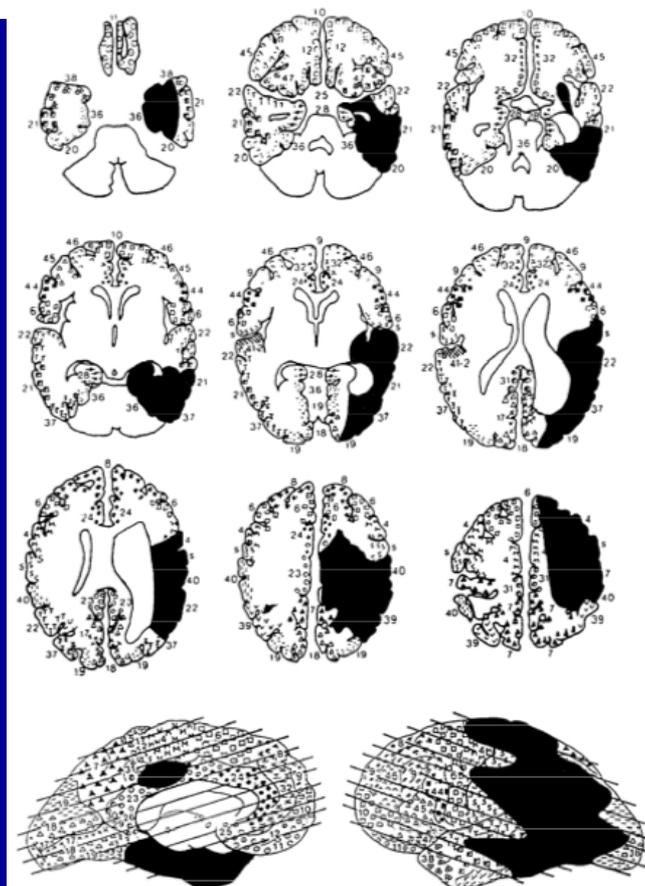


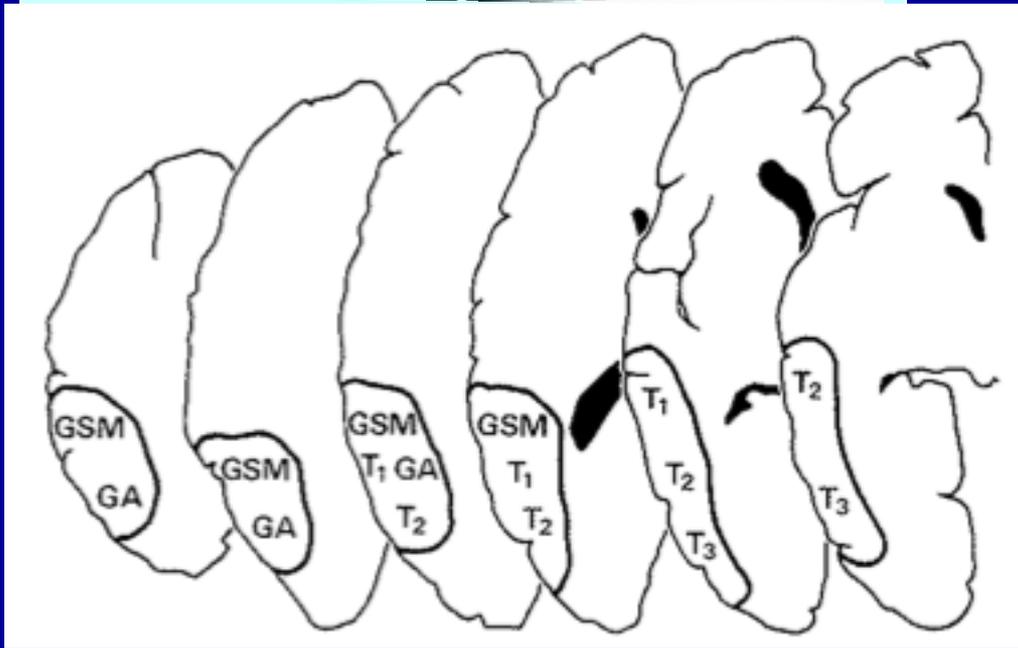
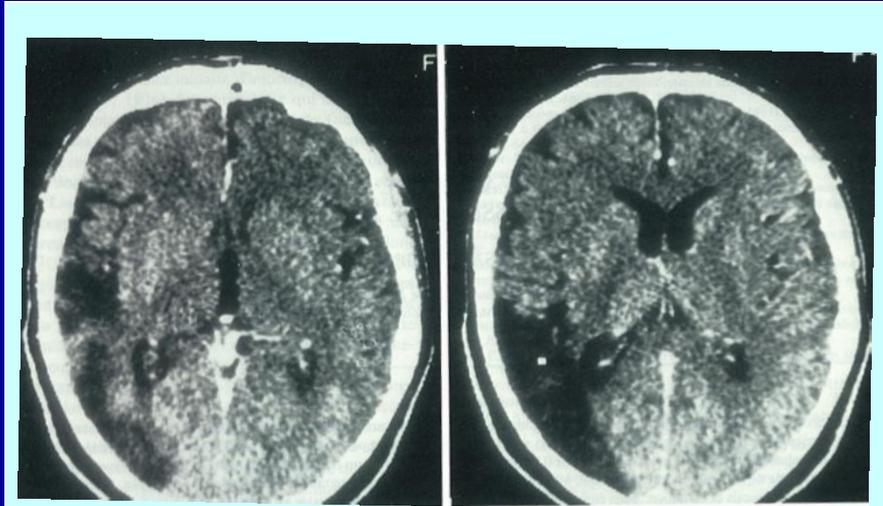
Fig. 1. Reconstruction of N.A.U.'s brain on the basis of CT scan using templates from DAMASIO and DAMASIO [9]. The lesioned left-hemisphere is represented on the right side of transversal sections.

Assal G, Jacot-Descombes C. Intuition arithmétique chez un acalculique. Rev Neurol 1984;5:374–5.

- Homme de 54 ans, musicien de haut niveau, bilingue français italien
- AVC embolique suite à une opération : aphasie de Wernicke, sans amusie significative (Assal & Buttet, 1983)
- Syndrome de Gerstmann typique (agraphie, sauf écriture musicale, confusion droite/gauche, agnosie digitale avec hémianopsie droite)
- CT scan : aire hypodense partie post de T1, T2 et T3 + GA et GSM
- Persistance 6 mois après d'une acalculie sévère, tant pour le calcul mental (3/20) qu'écrit (5/20), mais curieuse dissociation : en **choix multiple** , plus de 75% de bonnes réponses, et aucune réponse aberrante = performance idem témoins de son âge

(ex: combien font $13+12$: 22, 25, 27, 35, 81)

Il dit ne plus savoir calculer; il n'a pas l'impression que les réponses fournies en choix multiple se fondent sur un effort conscient de calcul, "je contrôle mal mes réponses" c'est ainsi qu'il exprime son incertitude, ajoutant qu'il a conservé tout au plus "une sorte d'intuition".



Atteinte lobule pariétal inférieur Gche, atteinte probable du sillon intra-pariétal?

Rôle de l'hémisphère droit?

CEREBRAL PATHWAYS FOR CALCULATION: DOUBLE DISSOCIATION BETWEEN ROTE VERBAL AND QUANTITATIVE KNOWLEDGE OF ARITHMETIC

Stanislas Dehaene¹ and Laurent Cohen²

(¹INSERM, CNRS and EHESS, Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, Paris, France; ²Service de Neurologie, Hôpital de la Salpêtrière, Paris, France)

2 cas « d'anarithmie »

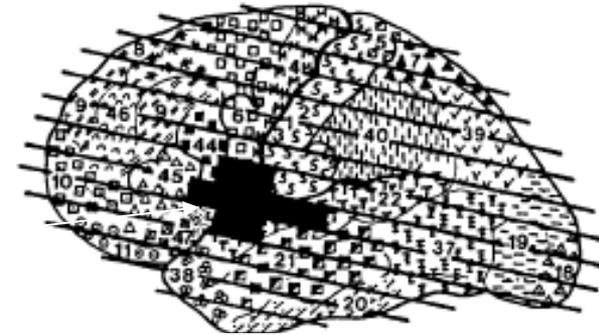
Cas 1 : lésion sous corticale gauche

- empan 4/3
- déficit dans les faits arithmétiques ($9 \times 8 = (10 \times 8) - 8$).
- 10% d'erreurs en soustraction

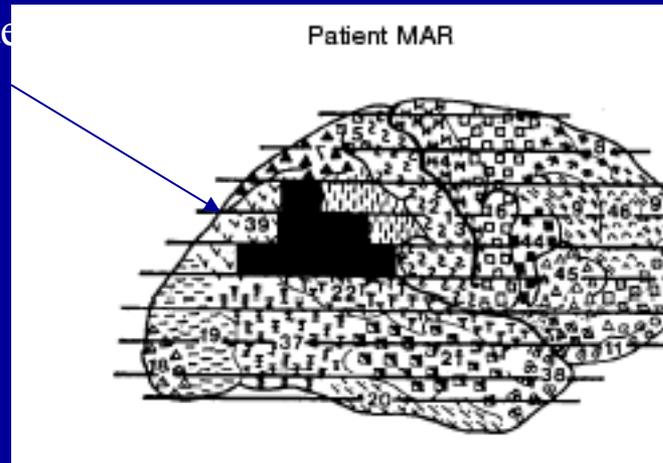
Cas 2 : lésion pariétale inférieure droite
synd de Gerstmann (gaucher)

- empan 5/2
- 40% erreurs en multiplications
- 70% erreurs en soustractions

Patient B00



Patient MAR



Cc1 : a left subcortical network contributes to the storage and retrieval of rote verbal arithmetic facts, while a bilateral inferior parietal network is dedicated to the mental manipulation of numerical quantities.

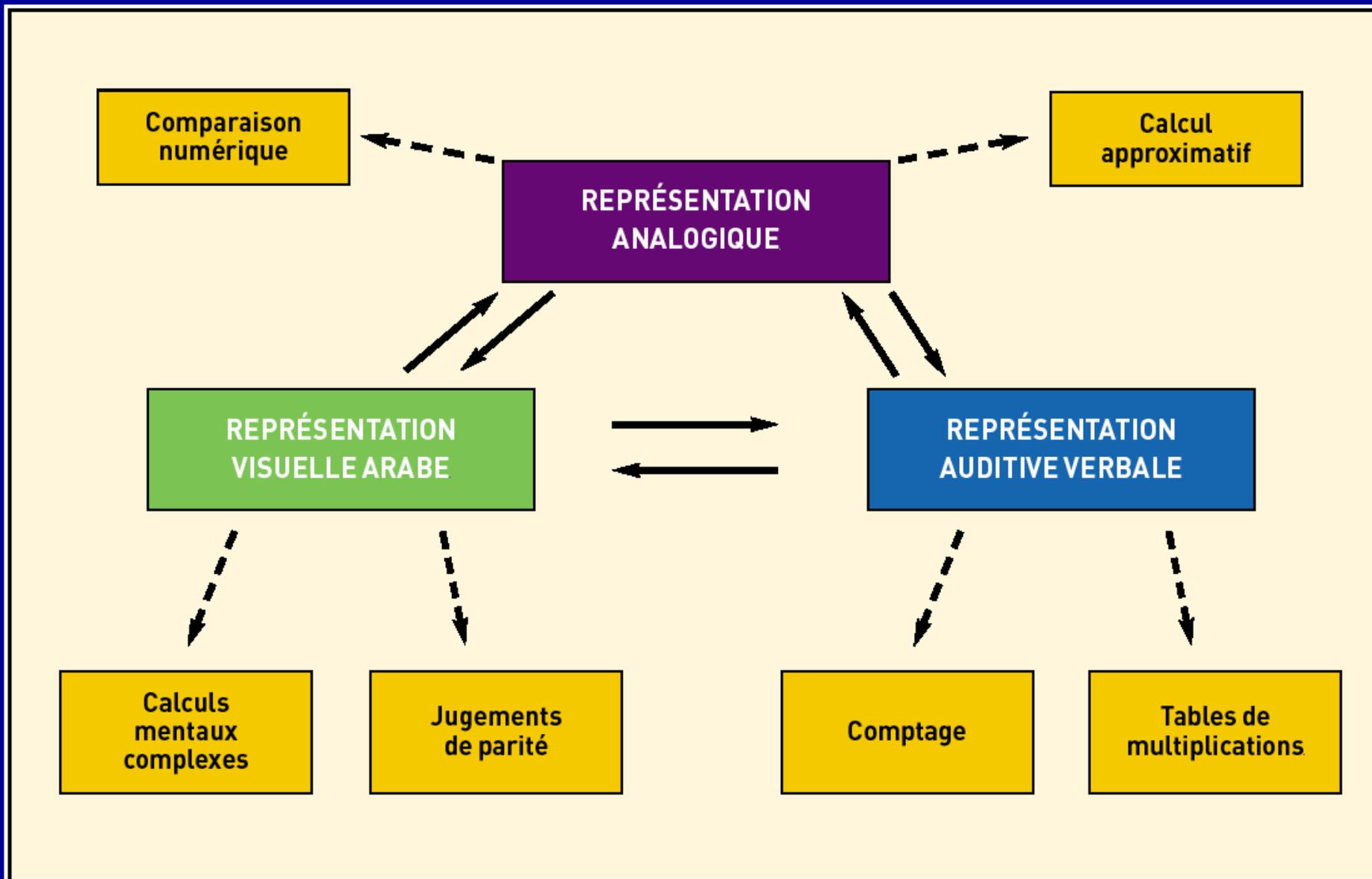


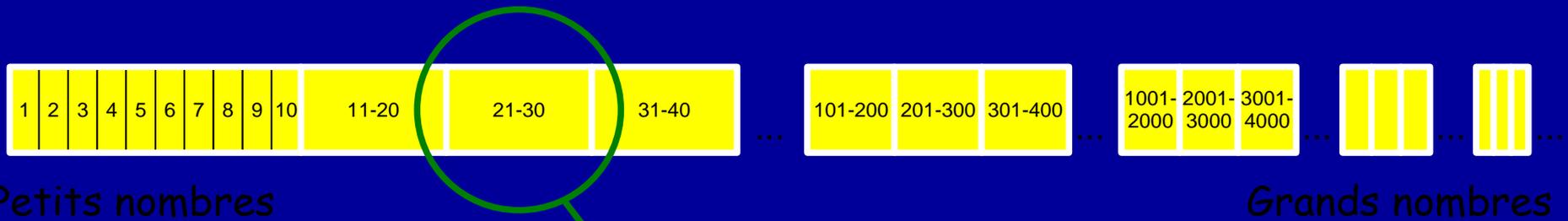
Figure 2 - Le modèle du "triple code" de Dehaene et Cohen.

Modèle du triple code (Dehaene et Cohen, 1995)

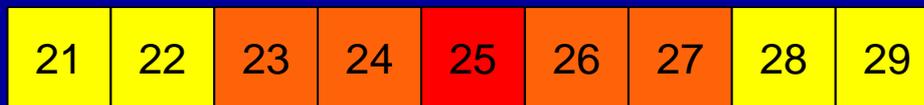
- Chaque type de représentation (analogique, auditivo-verbale et visuelle-arabe) est impliqué dans un traitement particulier du nombre.
- Chaque opération a un code unique pour l'entrée et la sortie
- Les trois composantes ont des mécanismes de traduction qui leur permettent de communiquer entre elles
 - La représentation analogique peut être comparée à une ligne numérique et d'autant plus compressée et donc d'autant moins précise qu'on avance dans les grands nombres : utile dans la comparaison des nombres et le calcul approximatif
 - Le système des nombres arabes manipule les chiffres arabes dans une grille spatiale et est utilisé dans les tâches de jugement de parité et les calculs à plusieurs chiffres.
 - Le système auditivo-verbal utilise les modules généraux du langage et a accès aux tables d'addition et de multiplication stockées en mémoire à long terme.

Ligne numérique mentale:

- Orientée de gauche à droite
- Logarithmique



Activation des représentations analogiques des nombres proches



--> effet de distance

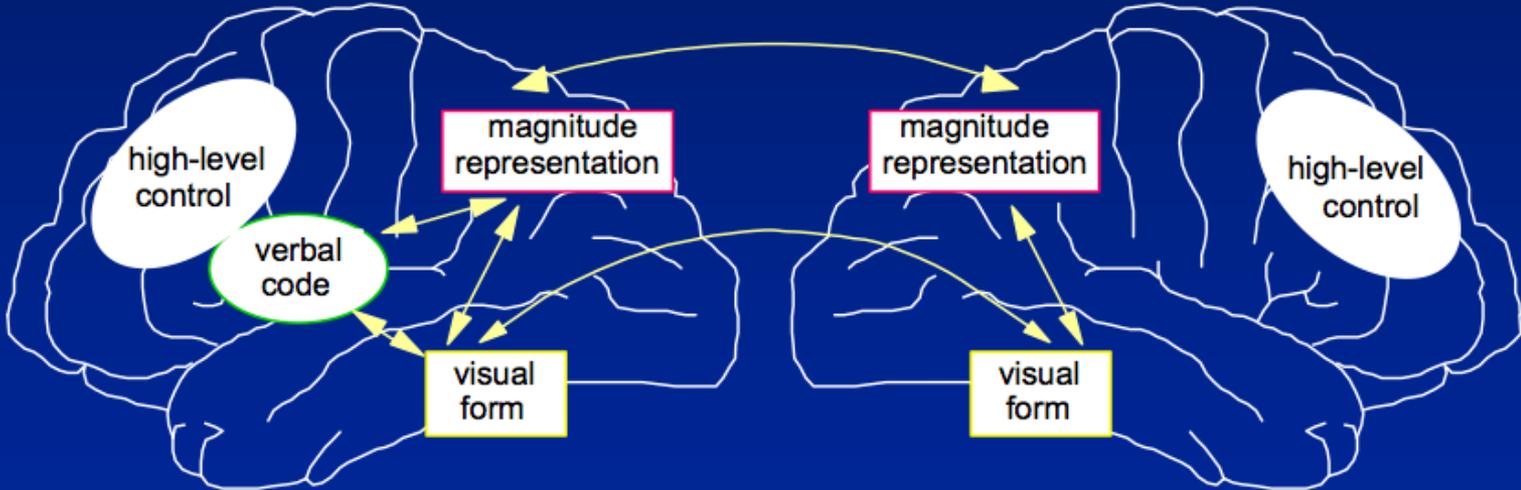
Le modèle du "triple code"

(Dehaene & Cohen, 1995)



Hémisphère gauche

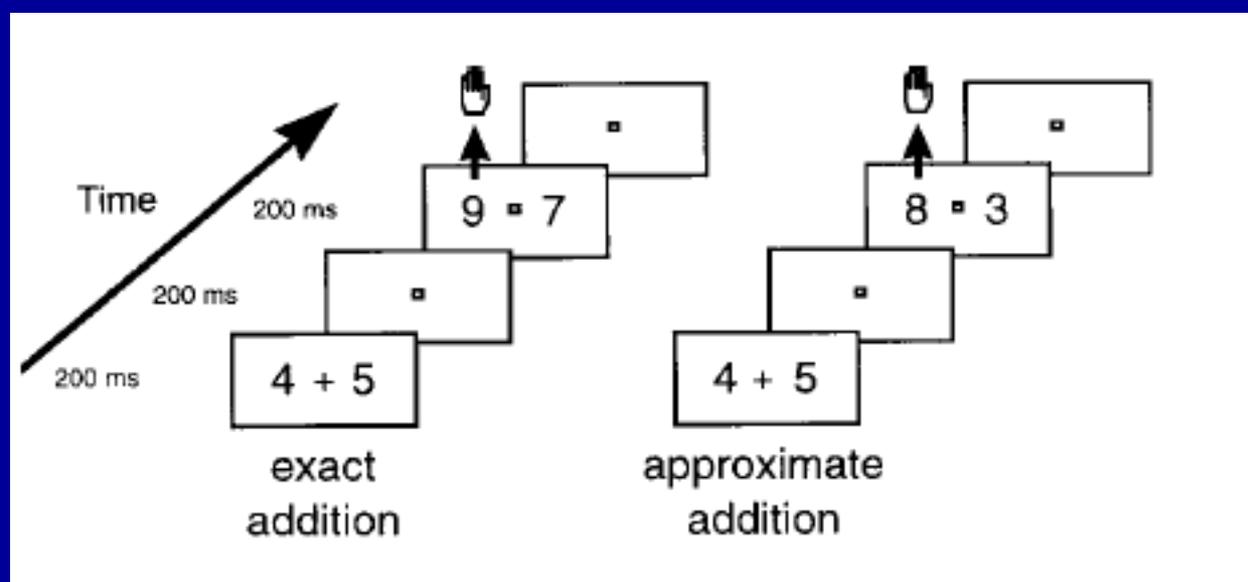
Hémisphère droit

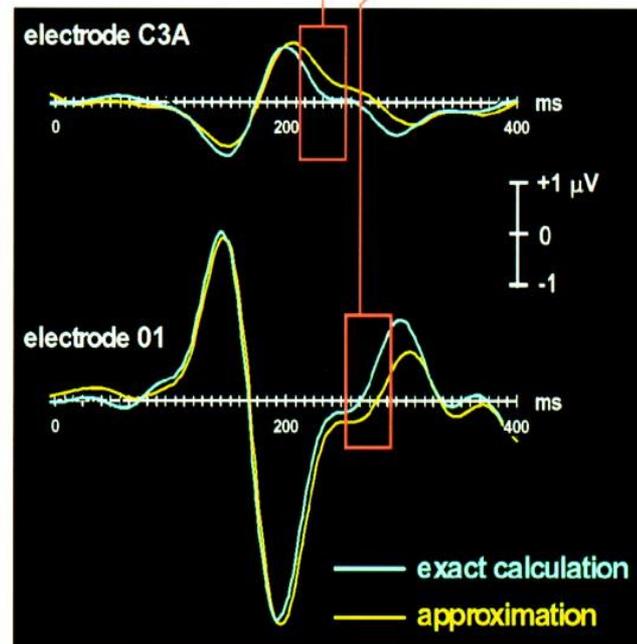
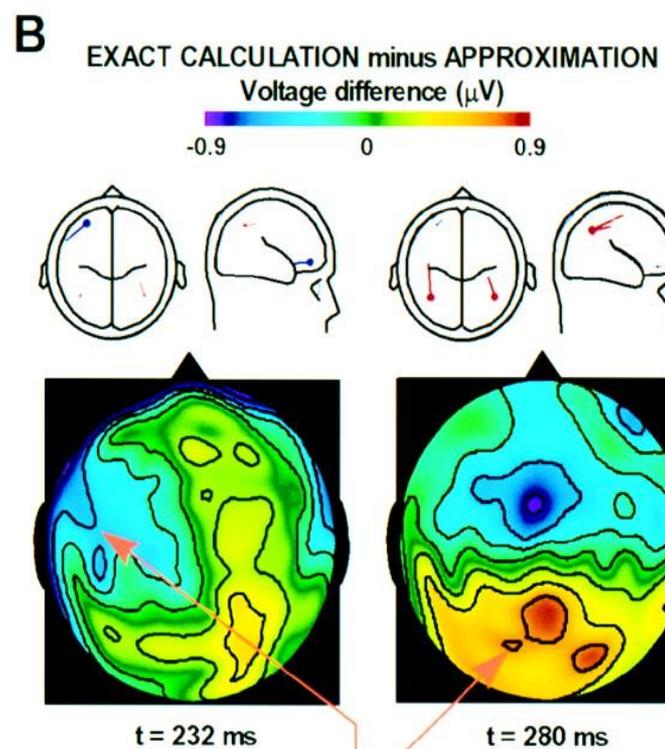
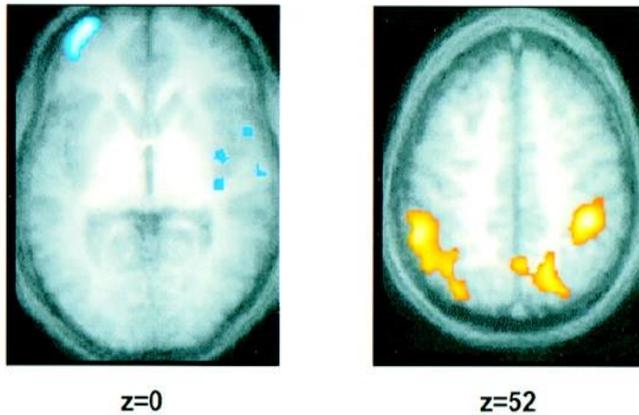
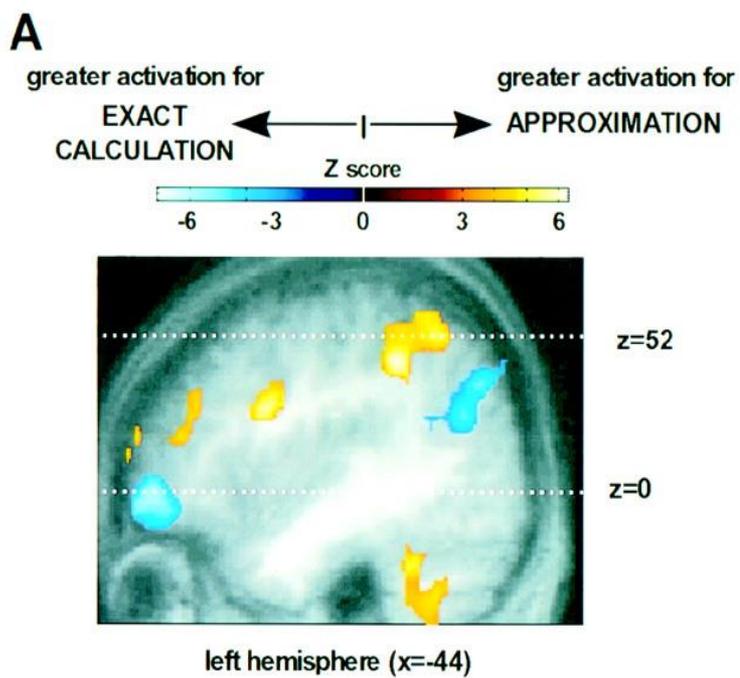


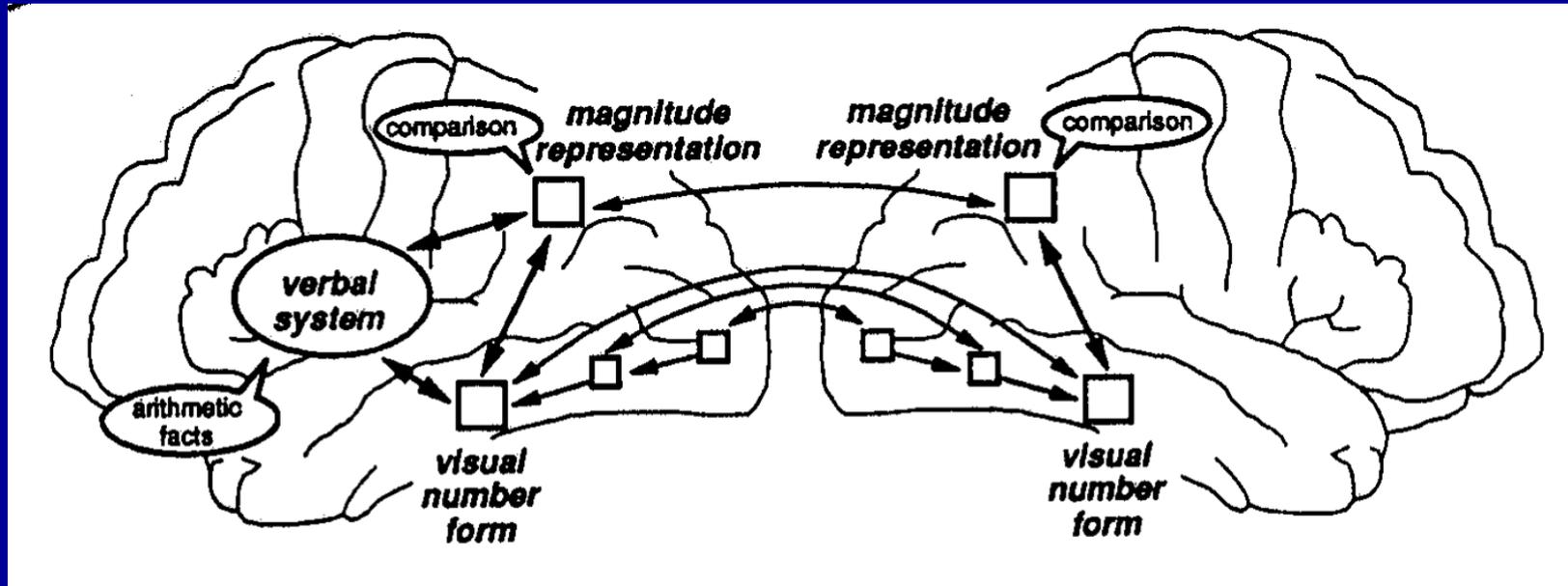
Dehaene, S. (1992). *Cognition*, 44, 1-42.
Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence

S. Dehaene,^{1*} E. Spelke,² P. Pinel,¹ R. Stanescu,¹ S. Tsivkin²







- représentation visuelle arabe: voies visuelles ventrales bilatérales
- représentation verbale: aires classiques du langage
- représentation de la magnitude: jonction pariéto-occipito-temporale bilatérales

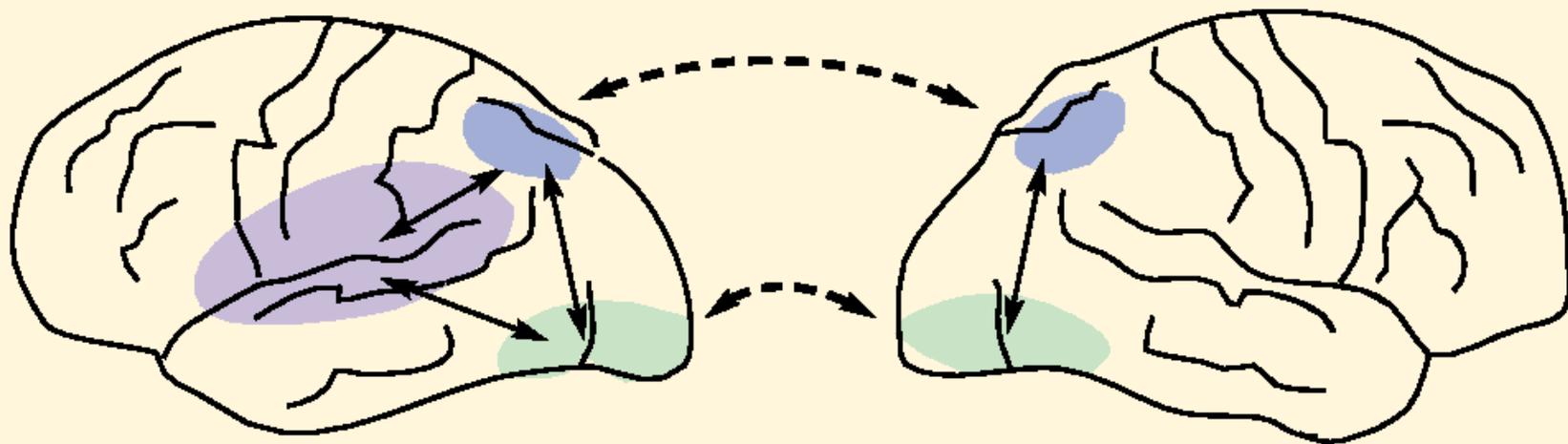


Figure 3 - Implémentation anatomique du triple code (traitement visuel arabe en vert, traitement analogique en bleu et traitement langagier en violet).

II/ Le cortex intra-pariétal : un module spécifique dédié au traitement du nombre

Journal of Anatomy and Physiology.

THE INTRAPARIETAL SULCUS OF THE BRAIN. By
D. J. CUNNINGHAM, M.D., *Professor of Anatomy, Trinity
College, Dublin.* (PLATE IX.)

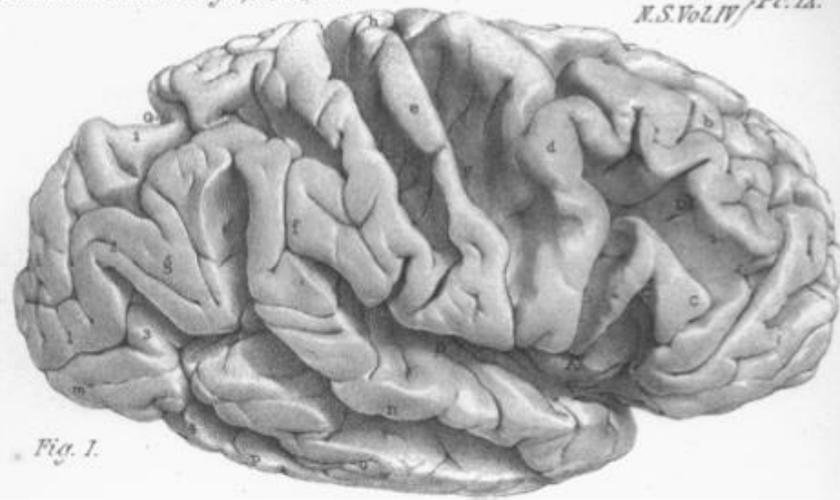


Fig. 1.

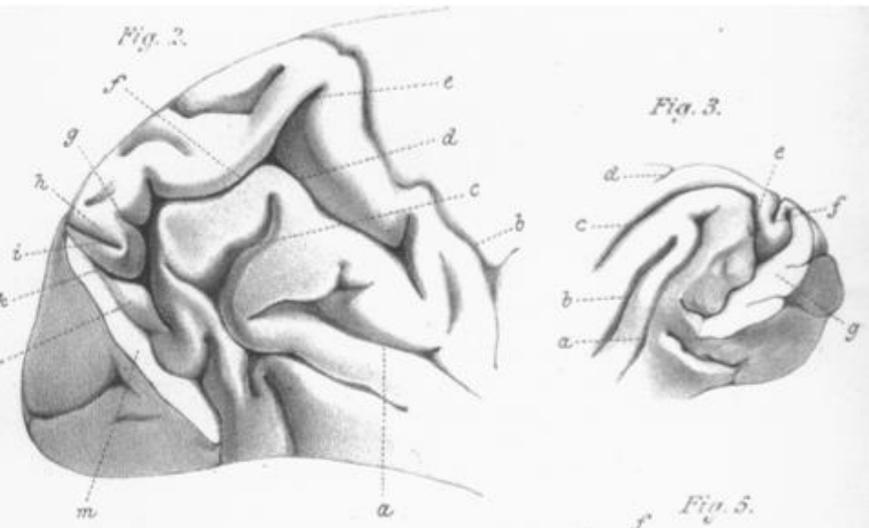


Fig. 2.

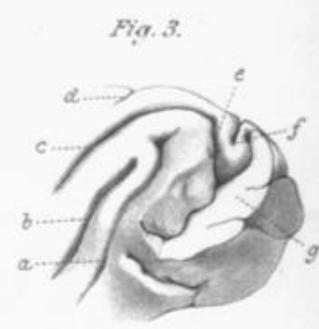


Fig. 3.

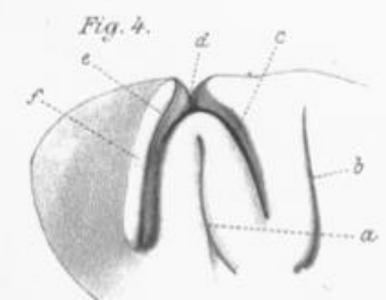


Fig. 4.

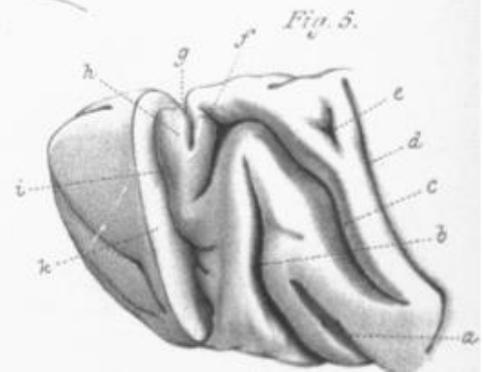
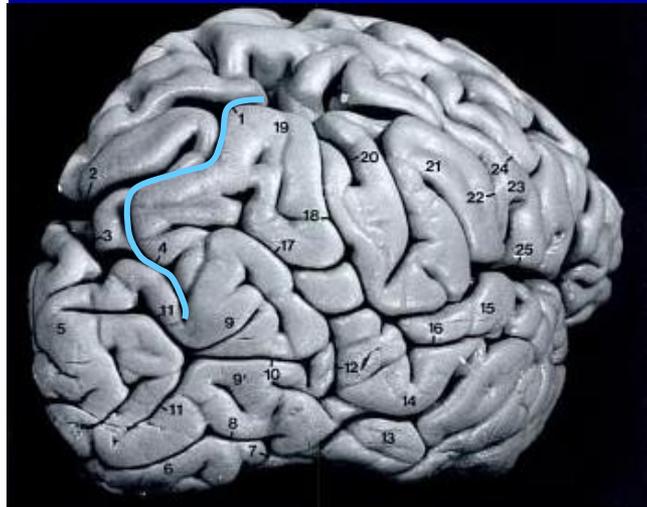
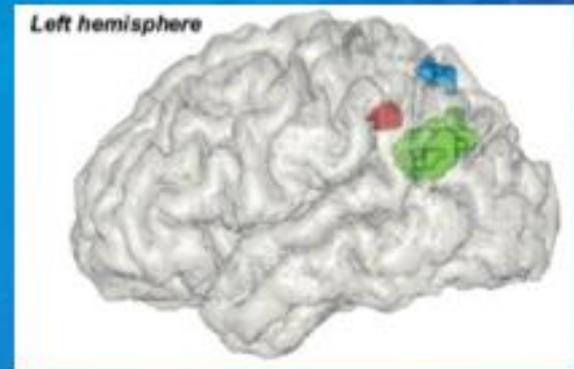


Fig. 5.

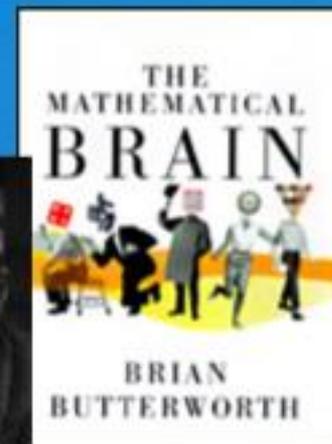
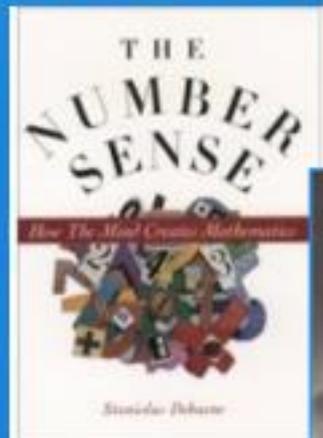


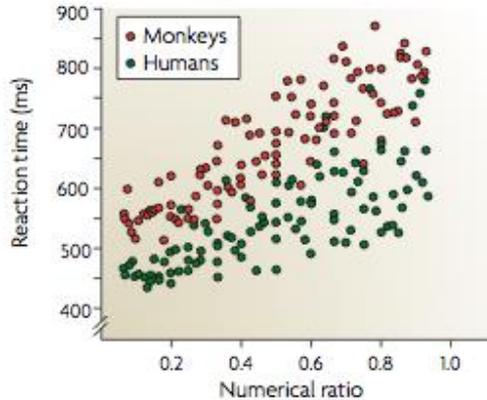
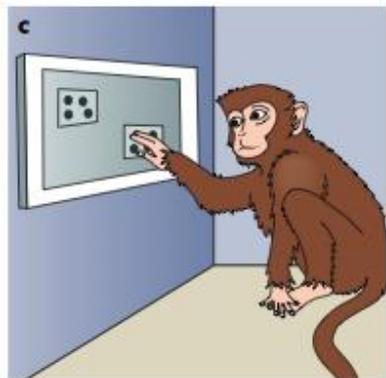
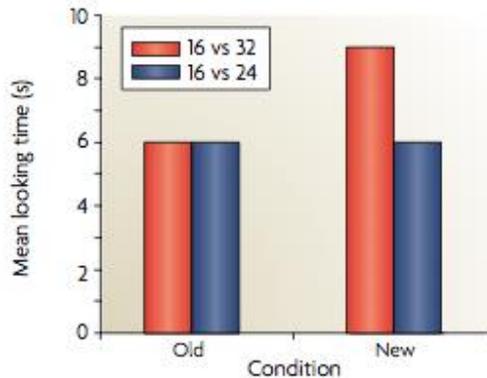
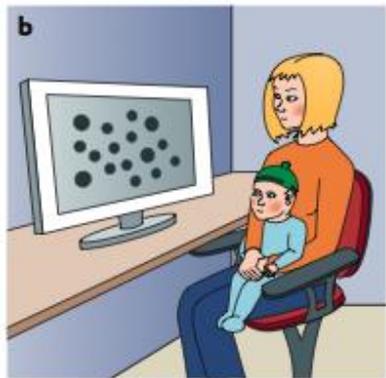
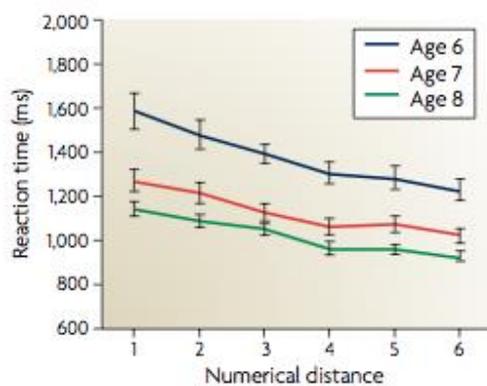
Numerical cognition

- Study of representation of number in the brain
- Methods: Animals, infants, cross-cultural linguistics, brain imaging, cognitive psychology
- Good introductory books:



Stanislas
Dehaene





Effet de distance : le temps de réaction pour décider lequel de deux nombres est le plus grand décroît avec la distance entre les deux nombres

Expériences d'habituation chez le nourrisson : des enfants de 6 mois sont capables de distinguer 16 de 32, mais pas 16 de 24

Apprentissage de la sériation chez le singe : le temps nécessaire au singe pour appuyer successivement sur des touches représentant des numéros croissantes est proportionnel au ratio de numéros

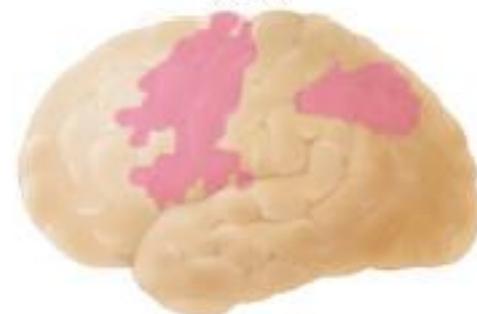
Continuité ontogénétique et phylogénétique dans les mécanismes de base de la représentation des magnitudes

Single-Neuron Arithmetic

Stanislas Dehaene

Numerical neurons. Cerebral networks that may underlie the sense of number in mammals (11). The brain areas that are activated when we compute a simple subtraction, such as $11 - 5$, may encompass areas homologous to those in the monkey and cat brain, where neurons tuned to a specific number have now been recorded.

Simon *et al.*,
2002



Human

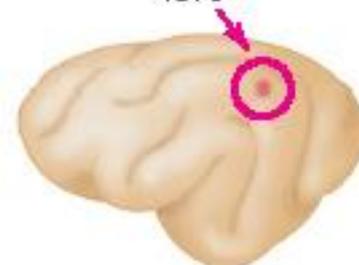
Nieder *et al.*,
2002

Sawamura *et al.*,
2002



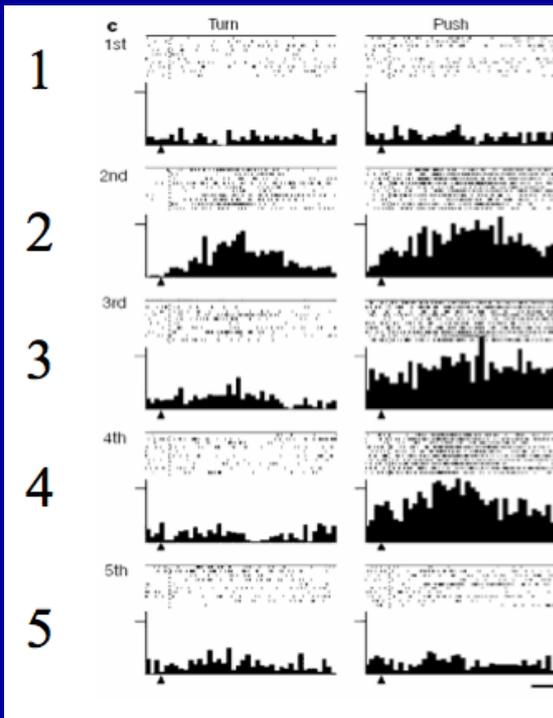
Monkey

Thompson *et al.*,
1970

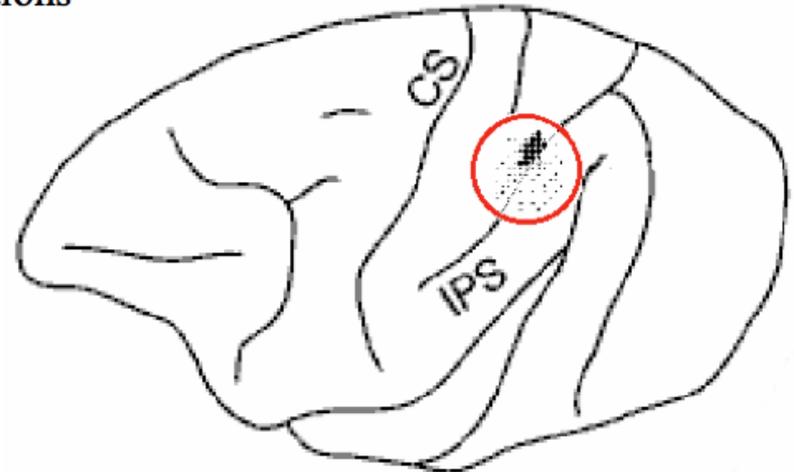


Cat

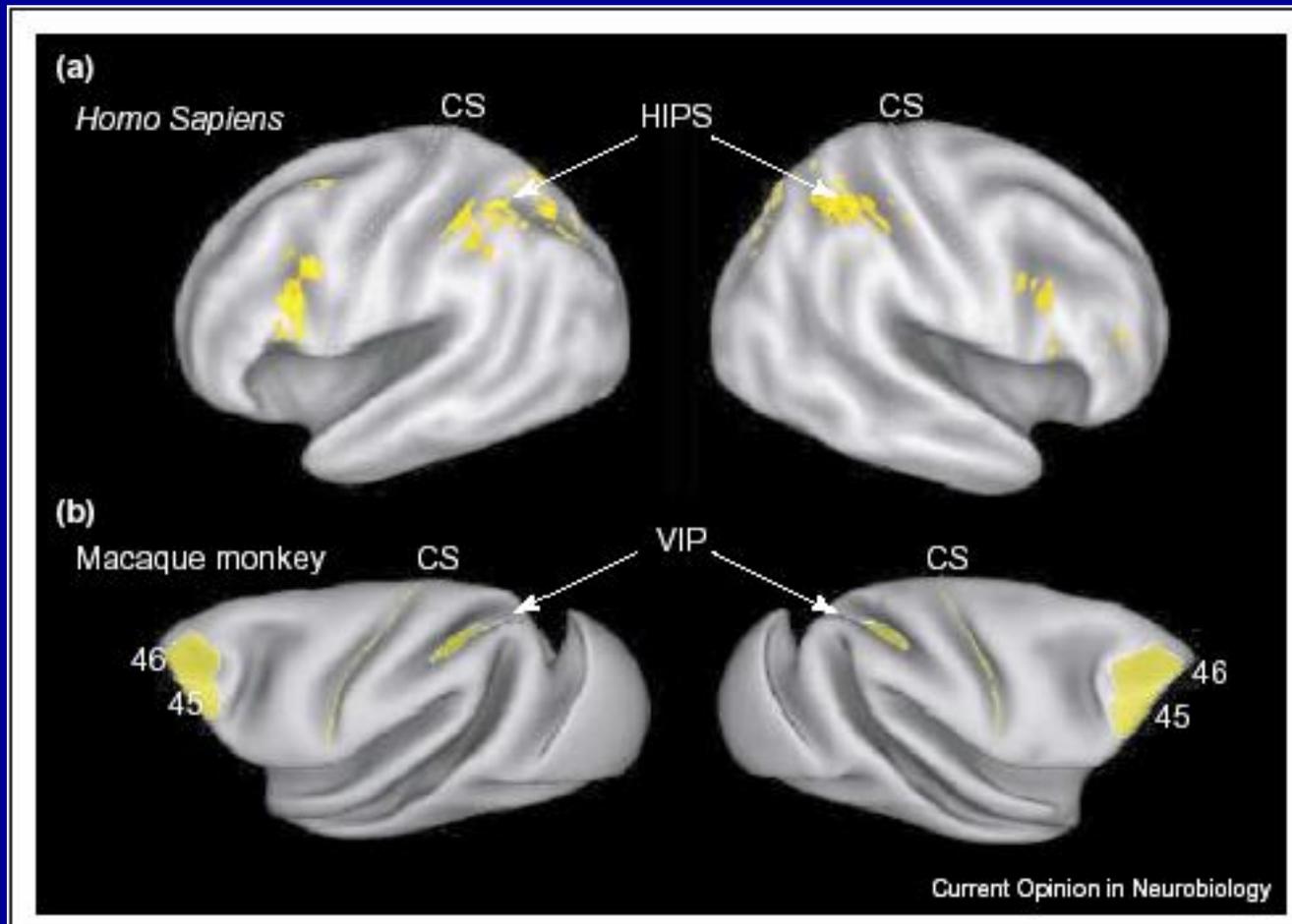
Codage du nombre d'actions dans le cortex pariétal du singe



- Des neurones sensibles au nombre d'actions sont observés dans la partie antéro-latérale du sillon intrapariétale
- Cependant, ils répondent souvent différemment aux deux actions

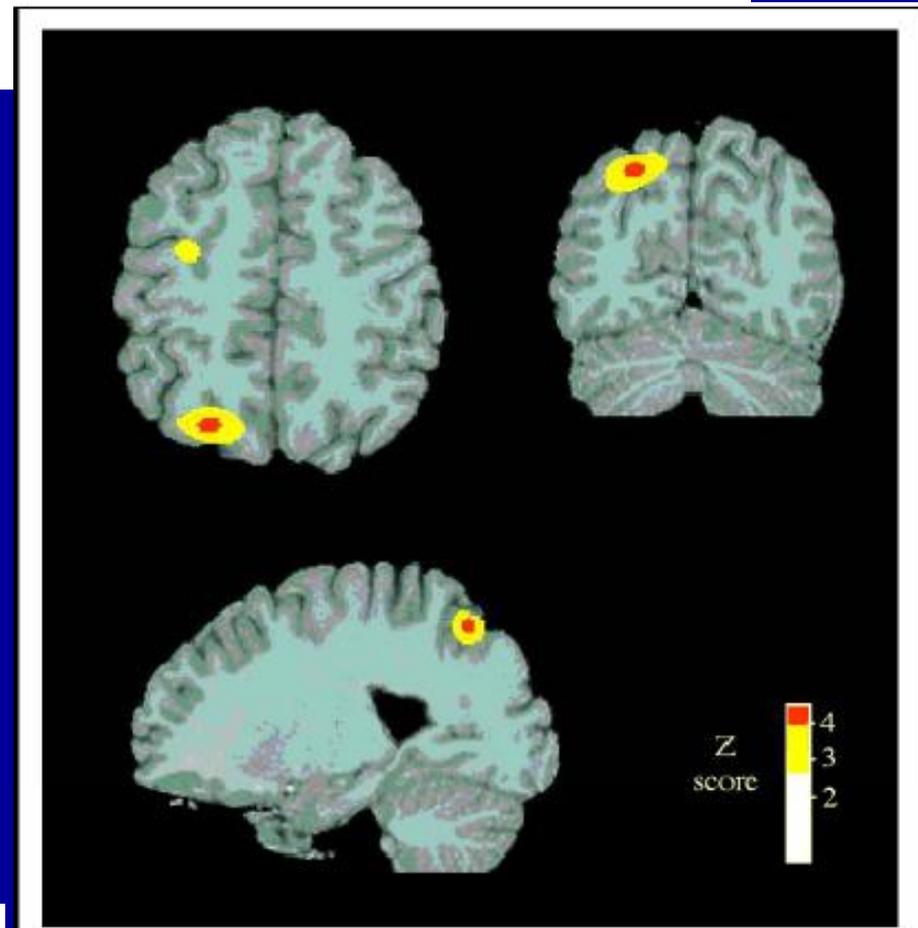
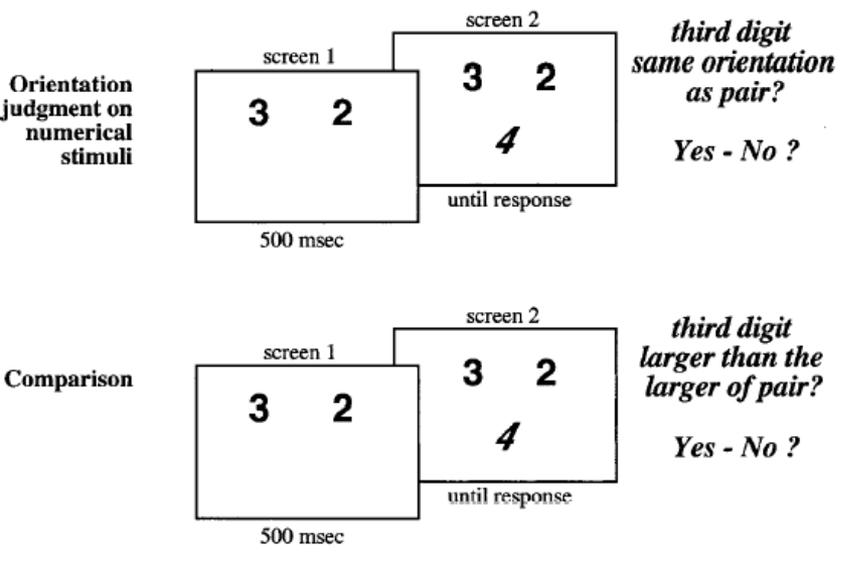


Traitement de la quantité chez les humains et primates non humains



Neuroanatomical Substrates of Arabic Number Processing, Numerical Comparison, and Simple Addition: A PET Study

Mauro Pesenti, Marc Thioux, Xavier Seron, and Anne De Volder
Université Catholique de Louvain, Belgium



Comparaison moins orientation =
Activation par. sup. gauche

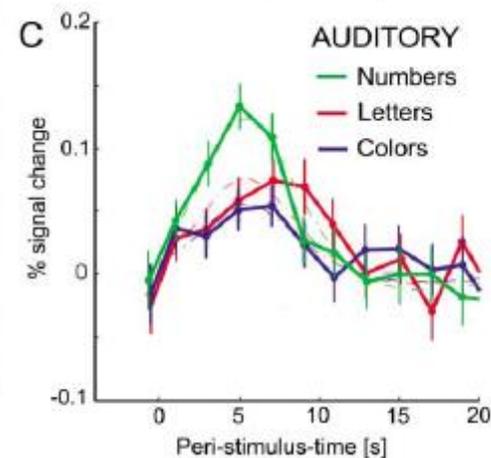
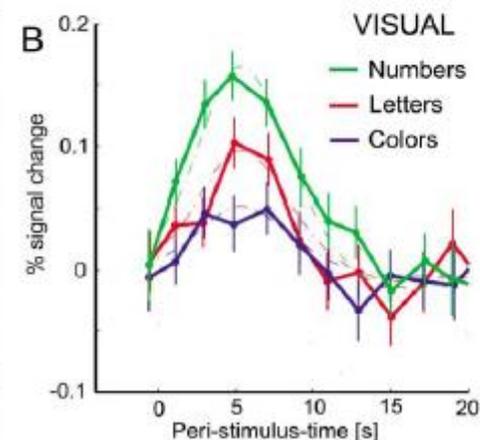
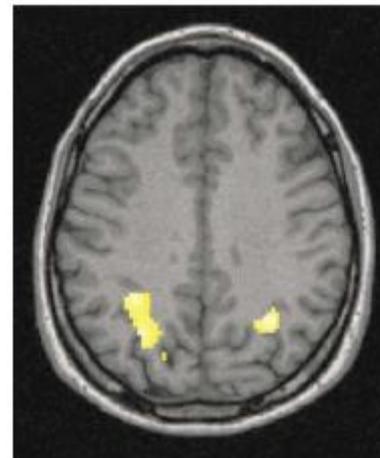
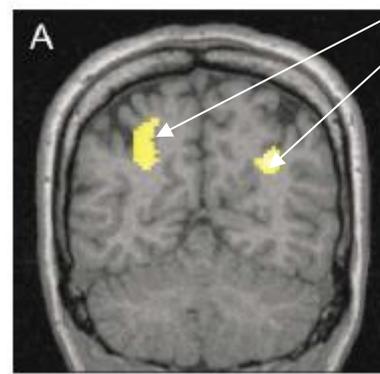
A Supramodal Number Representation in Human Intraparietal Cortex

Zone activee en commun par les chiffres vus ET entendus

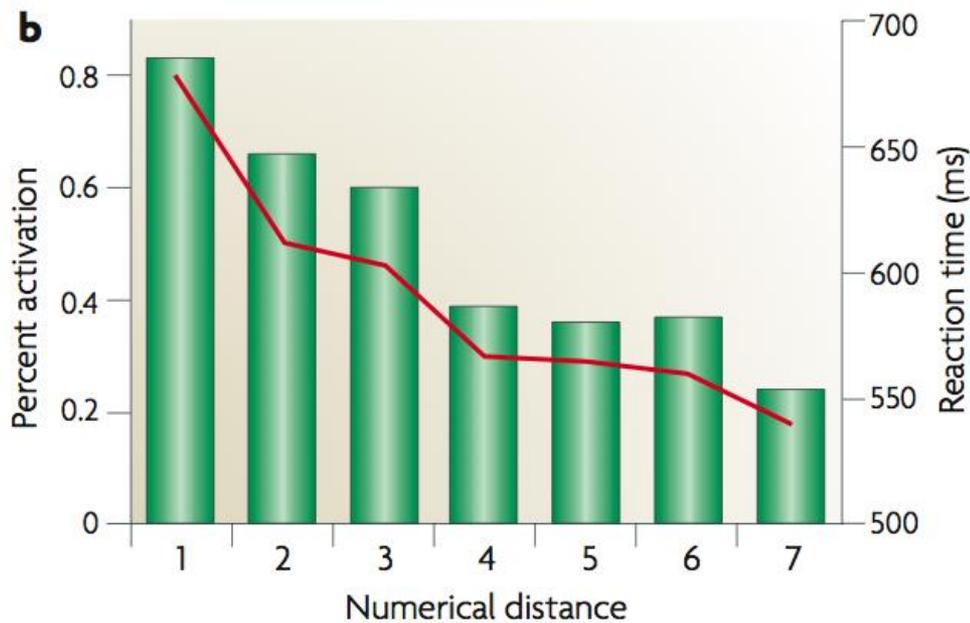
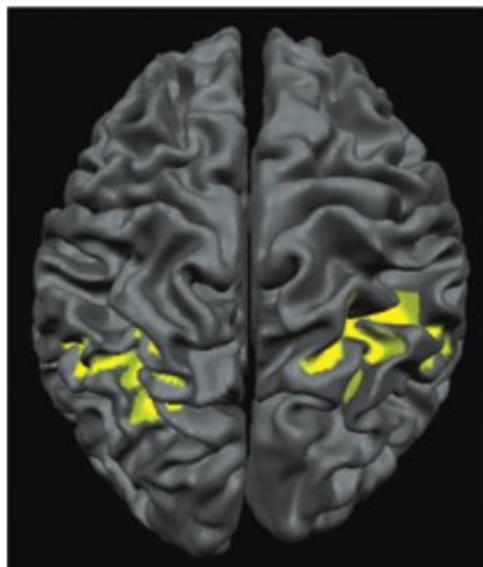
Question : y a-t-il une activation automatique (implicite) de la représentation des quantités?

		CATEGORY		
		numbers	letters	colors
MODALITY	visual	2	B	
	auditory	"Two"	"Be"	"Red"

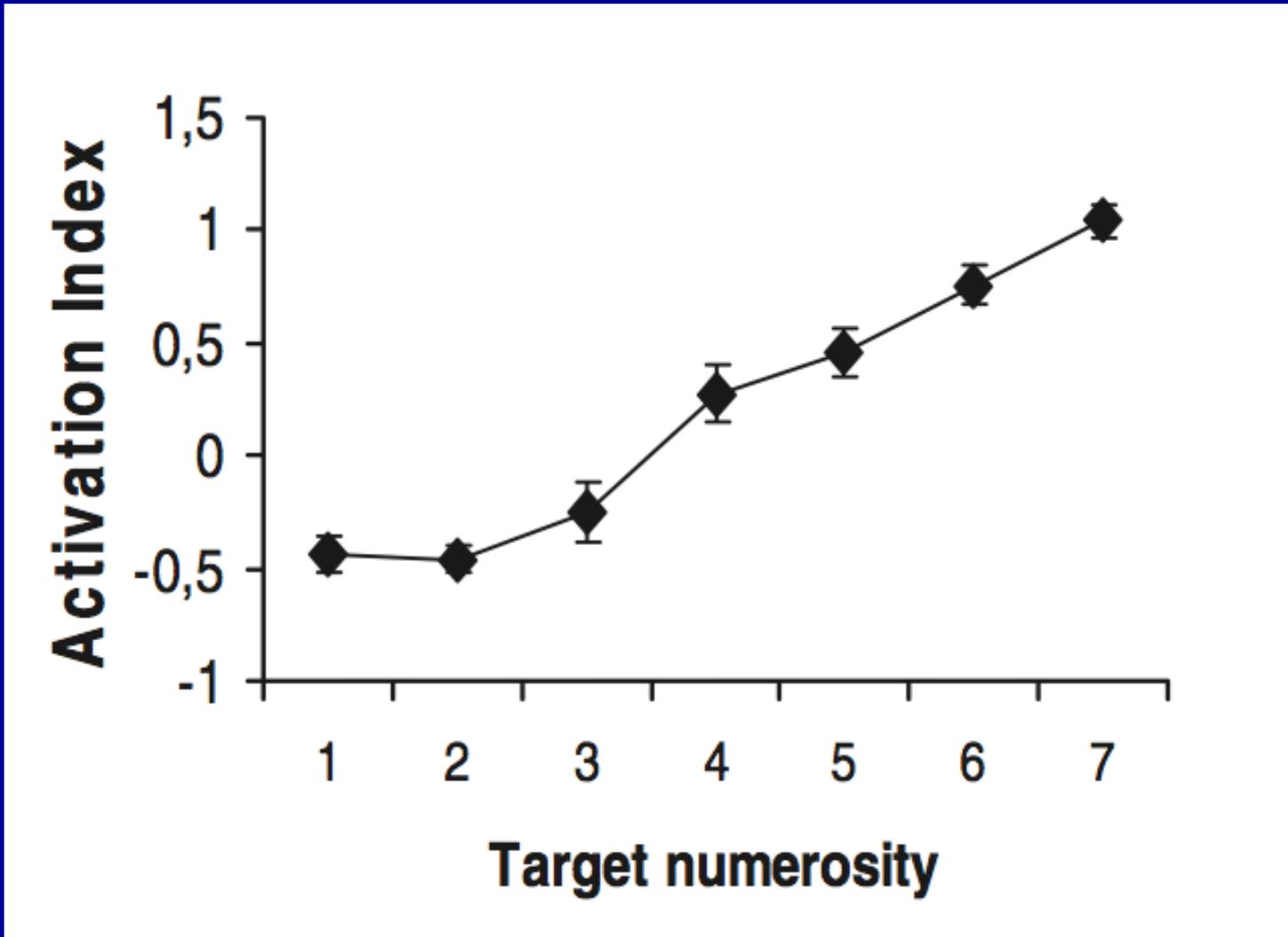
On présente au sujet chiffres, lettres ou couleurs sous une des deux modalités, il doit appuyer le plus vite possible sur une touche pour une cible donnée (chiffre, lettre ou couleur)



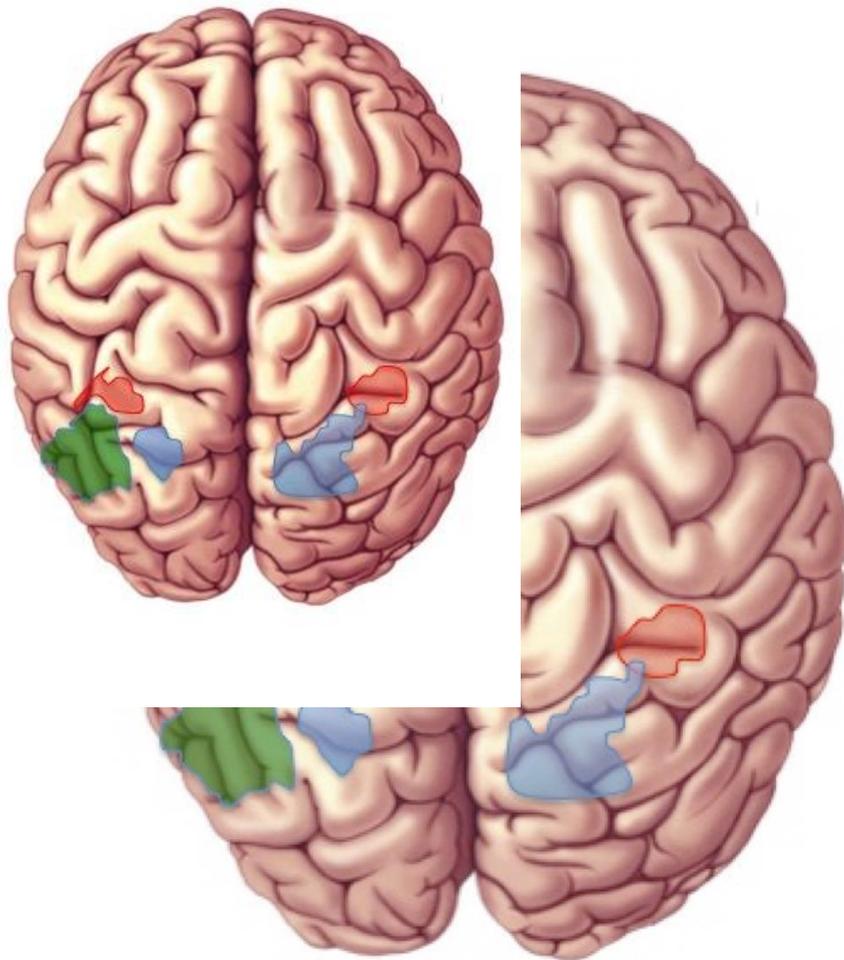
IRM fonctionnelle suggère l'implication de l'IPS dans le traitement des magnitudes : l'activation pariétale est négativement corrélée à la distance numérique dans une tâche de comparaison de nombres



Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D. & LeBihan, D. Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage* 14, 1013-1026 (2001).



degré d'activation de la région pariétale postérieure en IRMf selon la numérosité de la collection présentée. Alors que le degré d'activation est faible et constant pour les numérosités de 1 à 3, il augmente de façon proportionnelle au nombre d'items de 3 à 7, suggérant l'indépendance des mécanismes sous-jacents à la subitisation (reconnaissance immédiate pour les objets de 1 à 3 items) et au comptage (objets de 4 à 7 items).



Segment horizontal du sillon intrapariétal bilatéral (hIPS)

Activation dans toutes les tâches numériques (effets de distance, de taille, d'amorçage...). Noyau de connaissances sur les quantités numériques ?

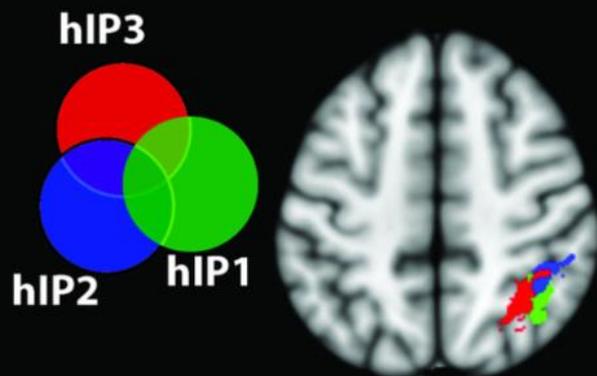
Gyrus angulaire gauche (AG)

Calculs mémorisés et dépendants d'un codage linguistique (calcul exact, multiplication...). Également activé dans de nombreuses tâches verbales non numériques
Codage verbal des faits arithmétiques ?

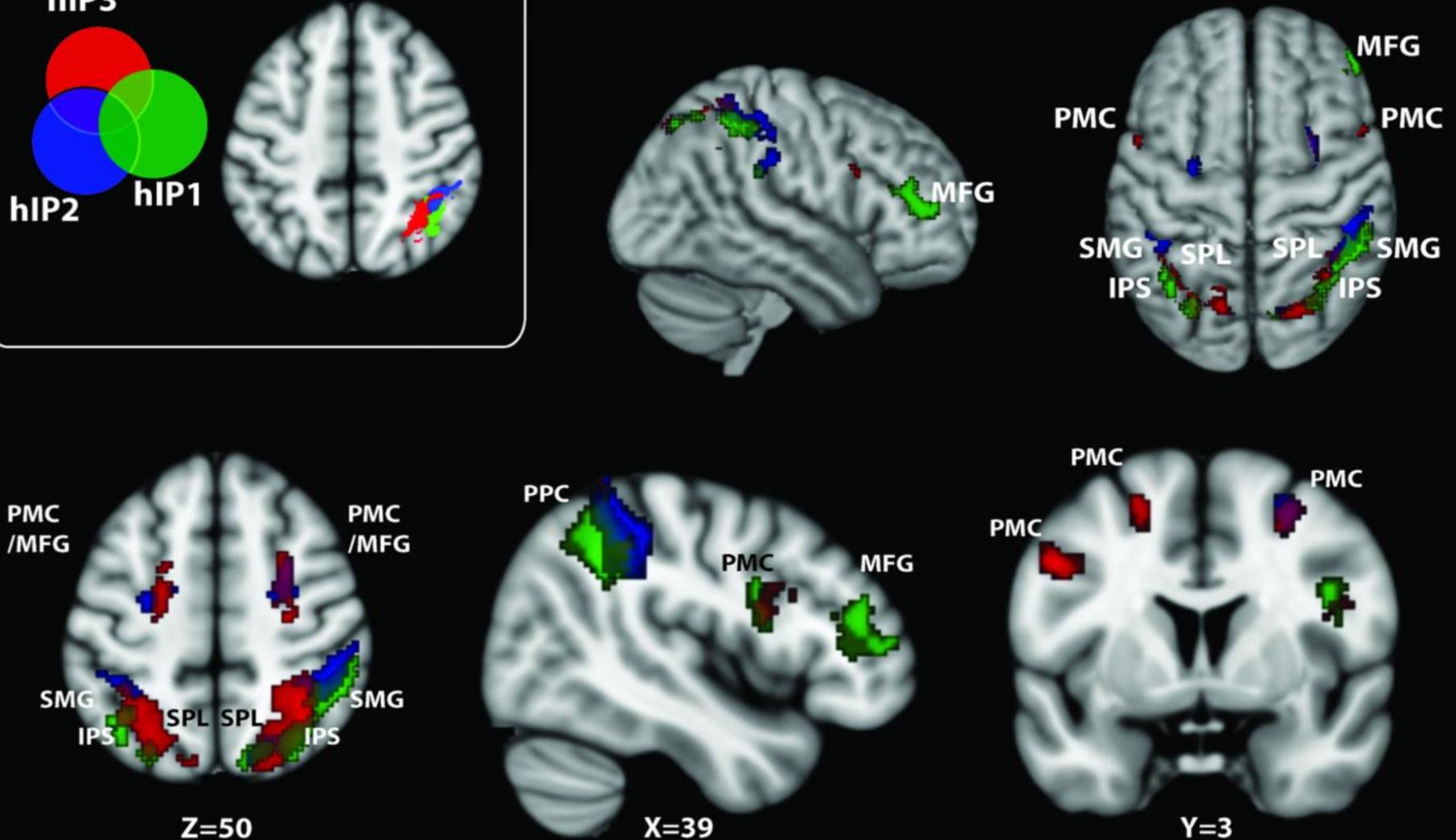
Région pariétale supéro-postérieure bilatérale (PSPL)

- Activation dans certaines tâches (soustraction, approximation, effet de distance). Également activée lors de tâches d'attention visuo-spatiale. Orientation de l'attention sur la « ligne numérique mentale » ?

(A) ROIs



(B) Functional Connectivity Maps



Trois subdivisions du segment horizontal de l'IPS et leur connectivité au repos



available at www.sciencedirect.com

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cortex

**Special issue: Original article**

Basic numerical processing in left intraparietal sulcus (IPS) acalculia

Sarit Ashkenazi^{a,*}, Avishai Henik^{a,**}, Gal Ifergane^b and Ilan Shelef^c

Ingénieur de 67 ans, excellent en maths auparavant, devenu acalculique et dysgraphique après un AVC.

Comparé à 4 témoins ingénieurs de même âge et niveau de formation. Lésion touche spécifiquement IPS gauche

Table 1 – The WAIS III index scores

Test	Index scores	Percentile (%)
Verbal comprehension	112	79
Perceptual organization	116	86
Working memory	108	70
Processing speed	114	82

Note: Test average = 100, standard deviation = 15. All scores are standardized by age.

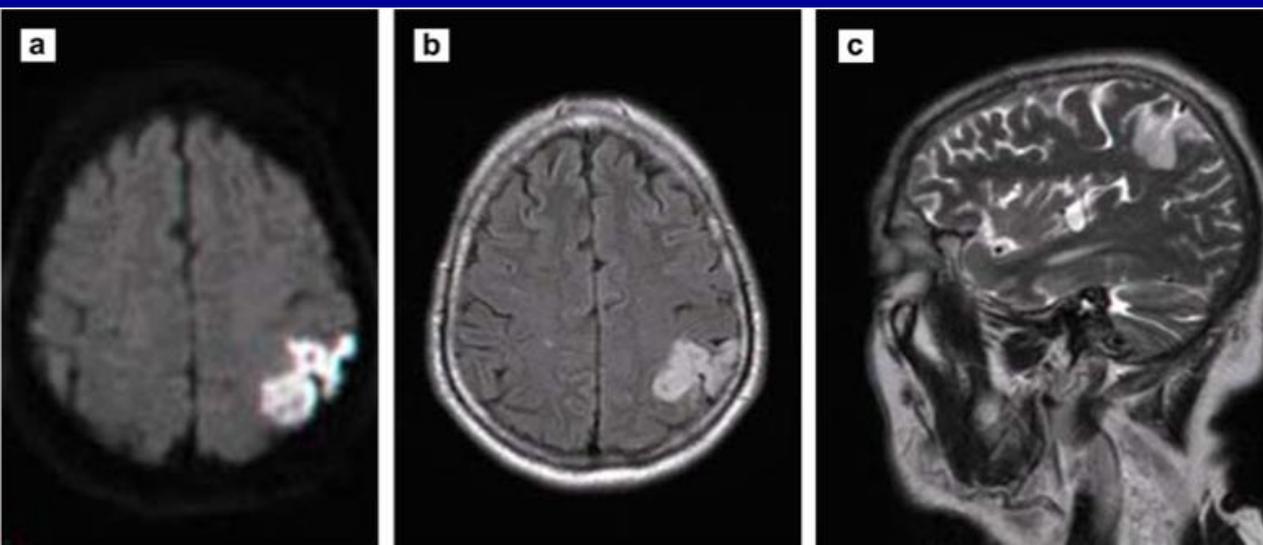
Table 3 – Arithmetic battery part 1: number comprehension and production

	AD	Controls
Matching written Arabic numbers to quantities	5/5	5/5
Comprehension of quantities	5/5	5/5
Serial order	2/2	2/2
Counting	5/5	5/5
Production (writing) of numbers	10/10	10/10
Dictation of arithmetical operators	4/4	4/4

Table 4 – Arithmetic battery parts 2–4: calculation

	AD	Controls
<i>Simple operations (one digit)</i>		
Addition	5/5	5/5
Subtraction	4/5	5/5
Multiplication	5/5	5/5
Division	5/5	5/5
<i>Complex operations (2 or 3 digits)</i>		
Addition	6/8 ^a	7.5/8
Subtraction	7/8	7.5/8
Multiplication	3/8 ^a	7.25/8
Division	6/8 ^a	7.75/8
<i>Decimals (e.g., 1.43 – .59=)</i>		
Addition	4/4	4/4
Subtraction	2/4 ^a	3.26/4
<i>Fractions (e.g., 1/2–1/4=)</i>		
Addition	5/5	4.75/5
Subtraction	1/5 ^a	4.75/5
Multiplication	5/5	4.5/5
Division	4/5	4.5/5

a Significant differences between AD and controls according to Crawford and Garthwaite (2004) and Crawford et al. (2004).



Report

Virtual Dyscalculia Induced by Parietal-Lobe TMS Impairs Automatic Magnitude Processing

Roi Cohen Kadosh,^{1,2,*} Kathrin Cohen Kadosh,¹ Teresa Schuhmann,⁴ Amanda Kaas,^{4,5} Rainer Go Avishai Henik,¹ and Alexander T. Sack⁴

¹Department of Behavioral Sciences and Zlotowski Center for Neuroscience Ben-Gurion University of the Negev Beer-Sheva 84105 Israel

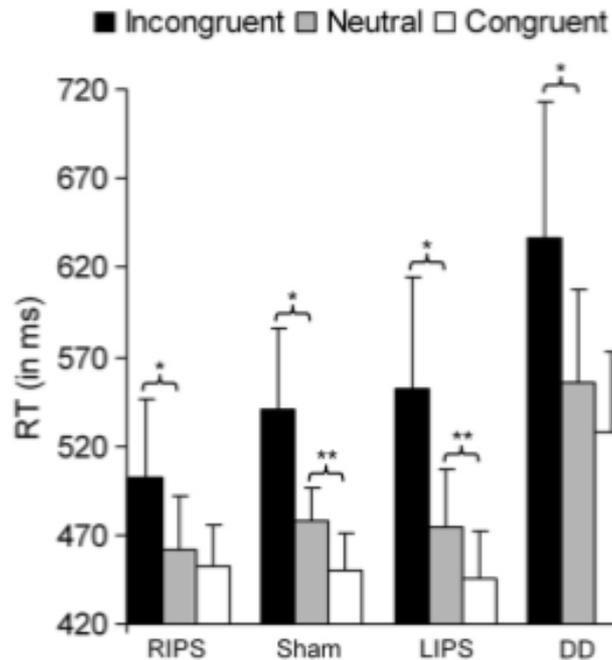
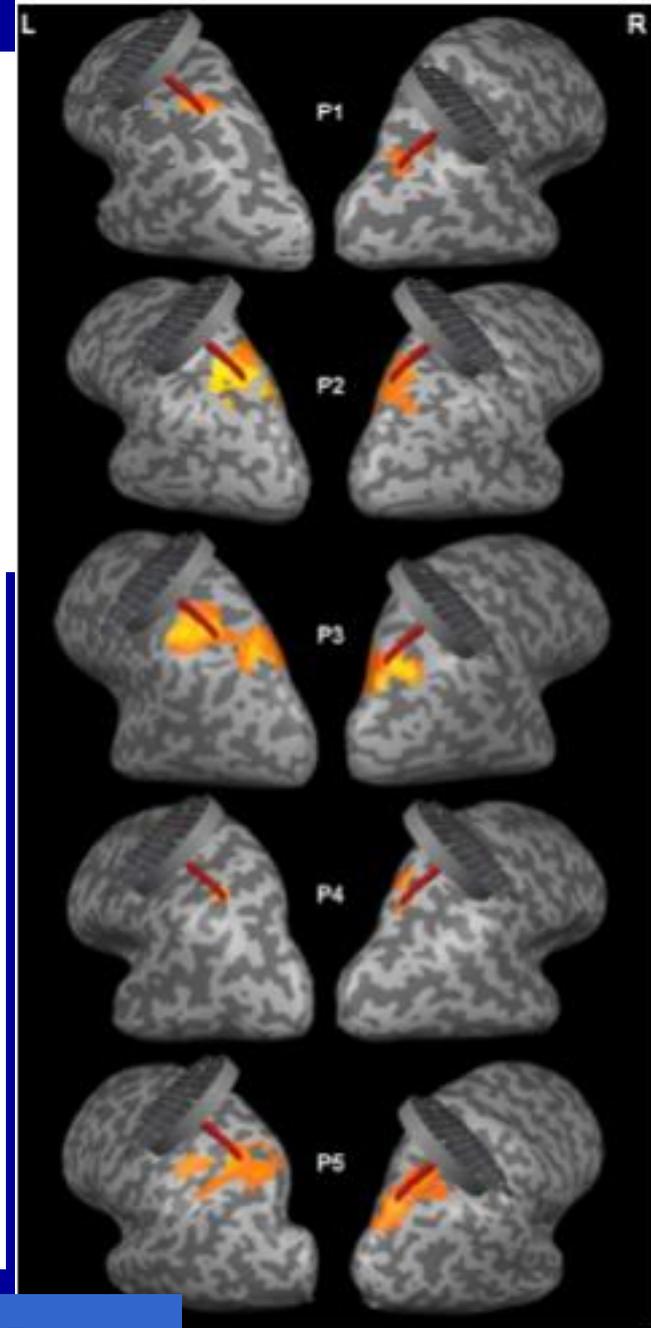


Figure 3. Reaction Times as a Function of Congruity for the Group with Developmental Dyscalculia and for TMS Stimulation Sites for the Nondyscalculic Group

Error bars depict one standard error of the mean. * < 0.05, ** < 0.005. The following abbreviations are used: developmental dyscalculia (DD), left IPS (LIPS), and right IPS (RIPS).



2 4 congruent

2 4 incongruent

2 4 Neutral : physical

2 2 Neutral : numerical

Inactivation pariétale droite : effet similaire aux dyscalculiques (interférence, mais pas de facilitation)

Première conclusion

- Il semble donc bien exister dans le cortex pariétal humain (sillon intrapariétal) un module spécialisé dans le traitement de la magnitude
- Son fonctionnement serait assimilable à l'activation d'une "ligne numérique mentale" orientée de gauche à droite, ayant une allure logarithmique dont le fonctionnement est illustré par l'effet de distance
- Il n'est pas encore bien clair si cette spécialisation concerne la magnitude en général ou le cas particulier des nombres
- L'IPS a également d'autres fonctions non numériques, en particulier dans le traitement de l'attention spatiale et non spatiale, et par ses connexions avec le cortex frontal supérieur, dans les fonctions exécutives en général

III/ Dyscalculie : un déficit du
sens du nombre?

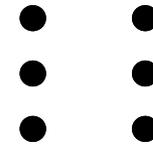
Un dyscalculique prototypique : Charles W (B. Butterworth)

- Charles W
 - Degree in psychology; postgraduate qualifications; always very bad at maths at school; finds shopping extraordinarily difficult. Takes 4-5 times as long as normals adding single digits; cannot subtract two digit numbers. Always calculates on his fingers (which makes multiplication hard).
 - Compensated dyslexic

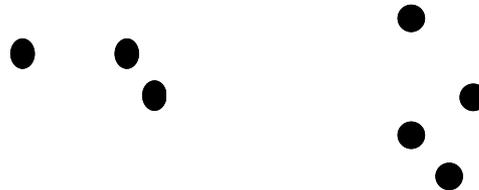
Subitizing (1-4)

Counting (6-9)

CANONICAL



RANDOM



6

5

2

9

8

7

Stroop conditions

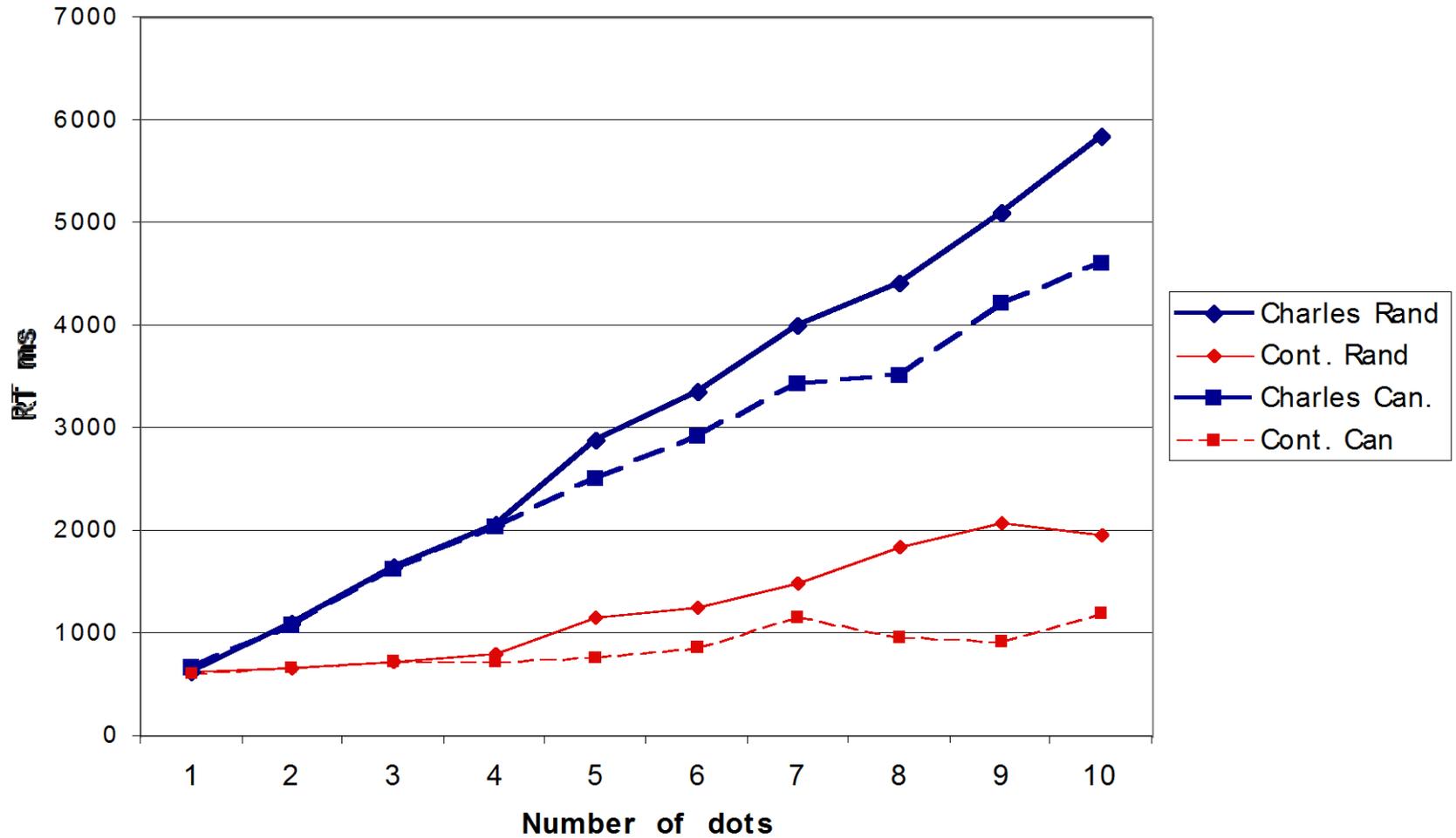
<i>Tâche</i>	Neutre (12)	Congruent (12)	Incongruent (12)
Numérique	3 6	3 6	3 6
Physique	3 3	3 6	3 6

2 différences de taille numérique : 1 (ex 2;3) et 5 (ex 7;2)

2 différences de taille physique : 0,3/0,5 cm et 0,6/1 cm

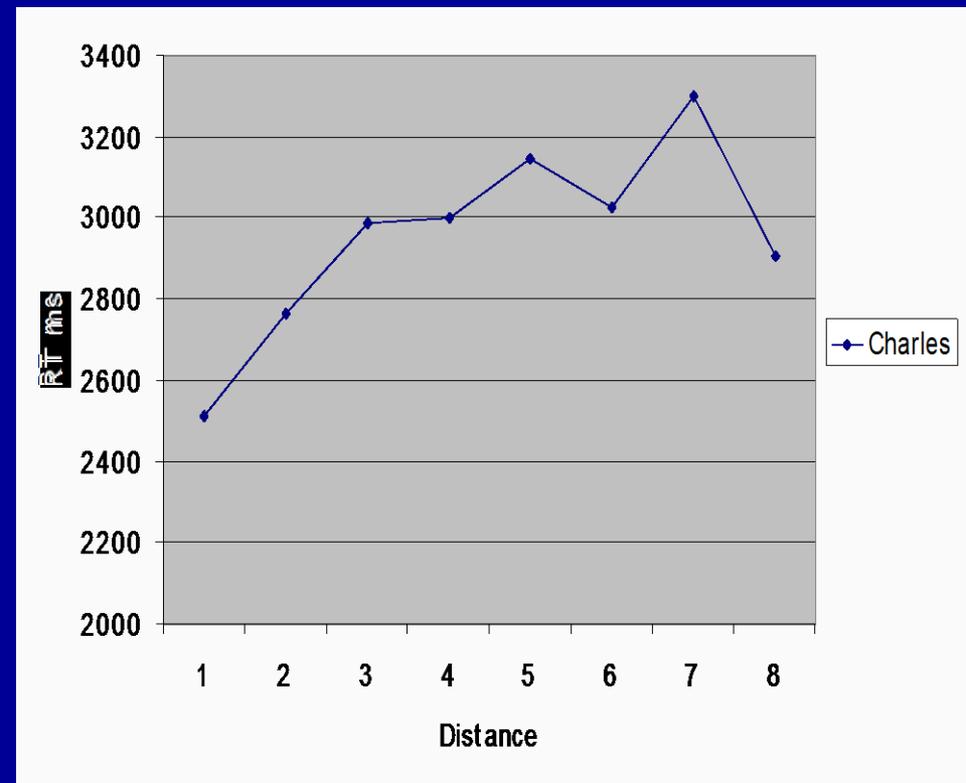
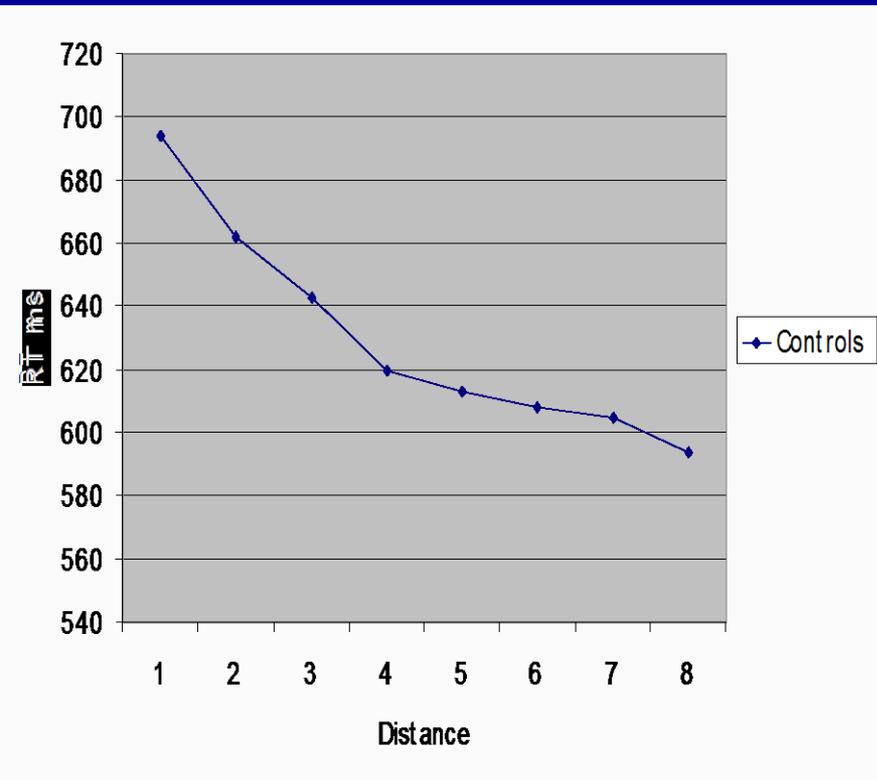
Réponse : appuyer sur la touche du côté du plus grand nombre

Charles vs controls: dot enumeration

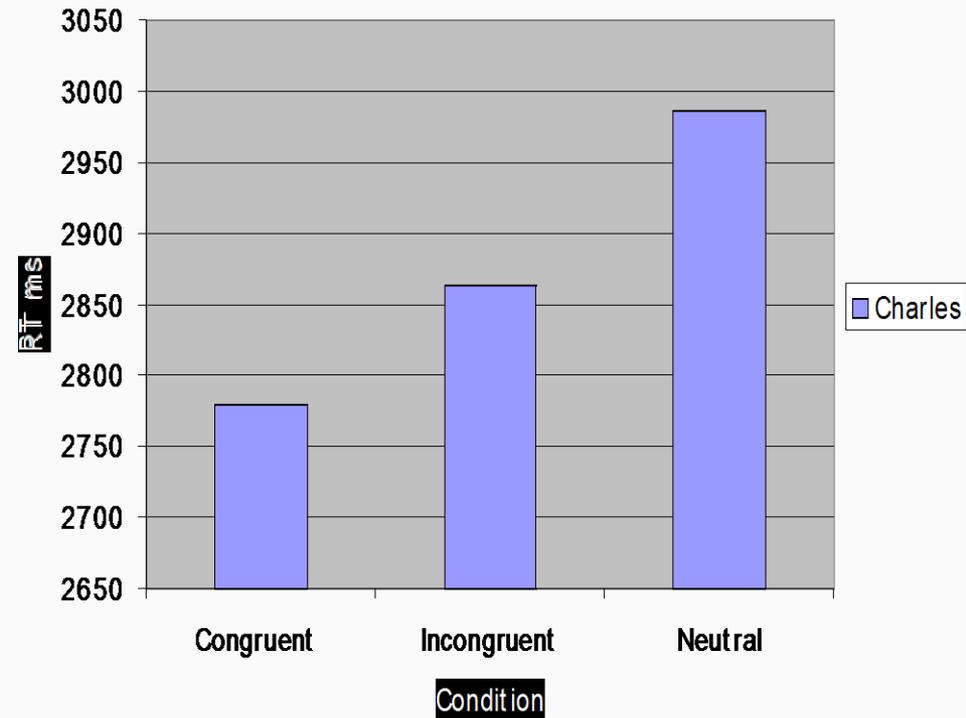
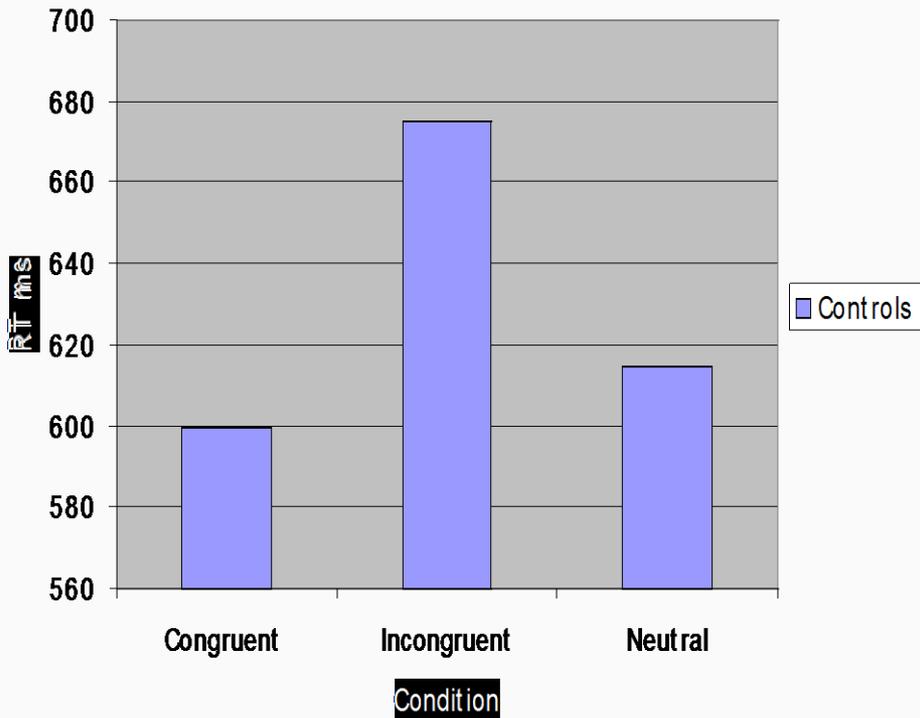


Charles vs controls: number comparison

Distance effect



Number stroop. Charles vs controls



interférence

facilitation

Représentation de la magnitude



?



Collections

Ex :

Symboles

Ex : **3**



- **population**

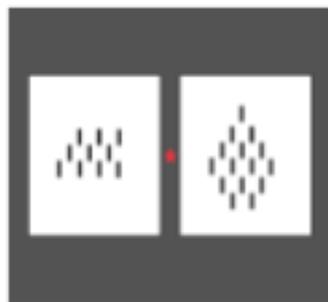
- 46 enfants DC : score < pc 15 dans un test de math
- La moitié d'entre eux sont aussi DL
- 47 enfants contrôles
- Pairés sur
 - age (8 ans),
 - Niveau intellectuel (WISC),
 - Classe (2ième primaire, donc CE1)

Rousselle & Noël (Cognition, 2006)

- Traitement des quantités à partir de symboles

2 5

- Traitement des quantités à partir de collections

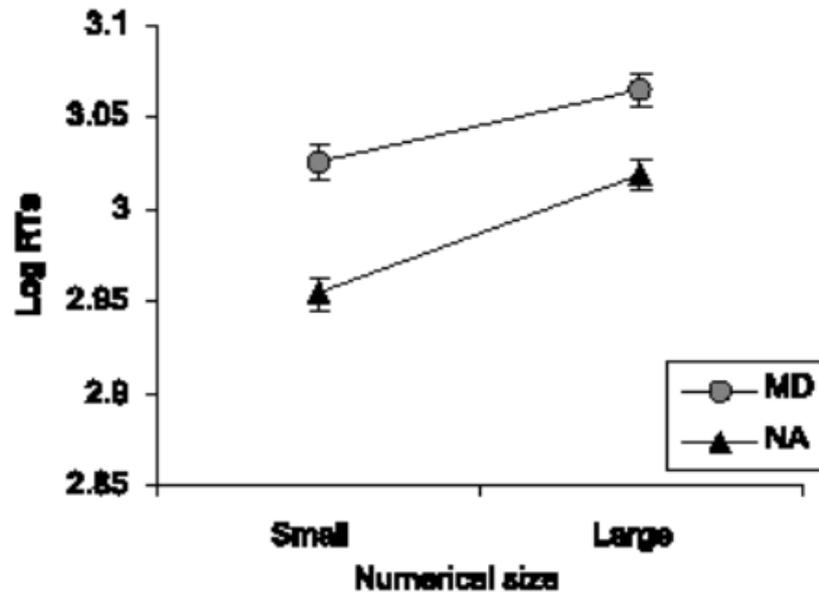


Easy Condition



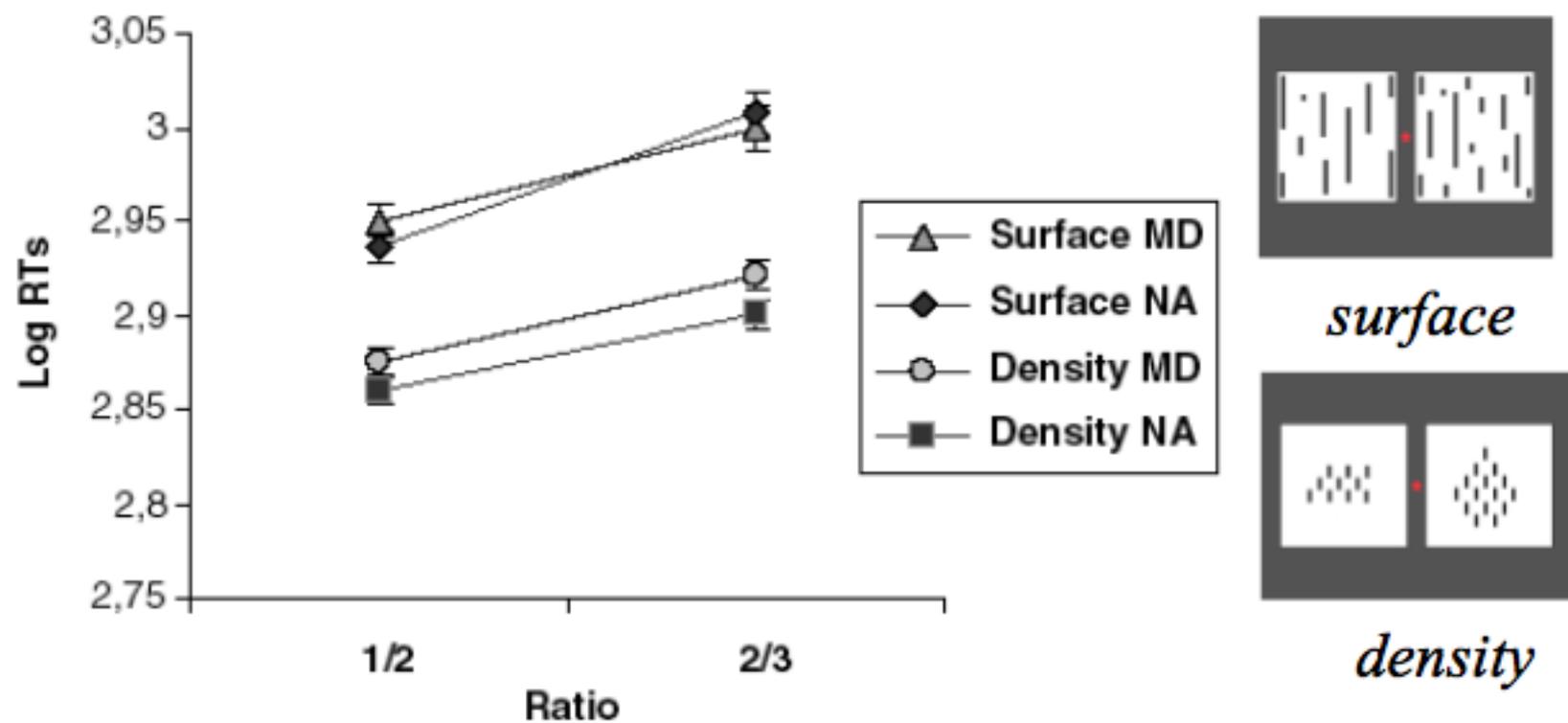
Difficult Condition

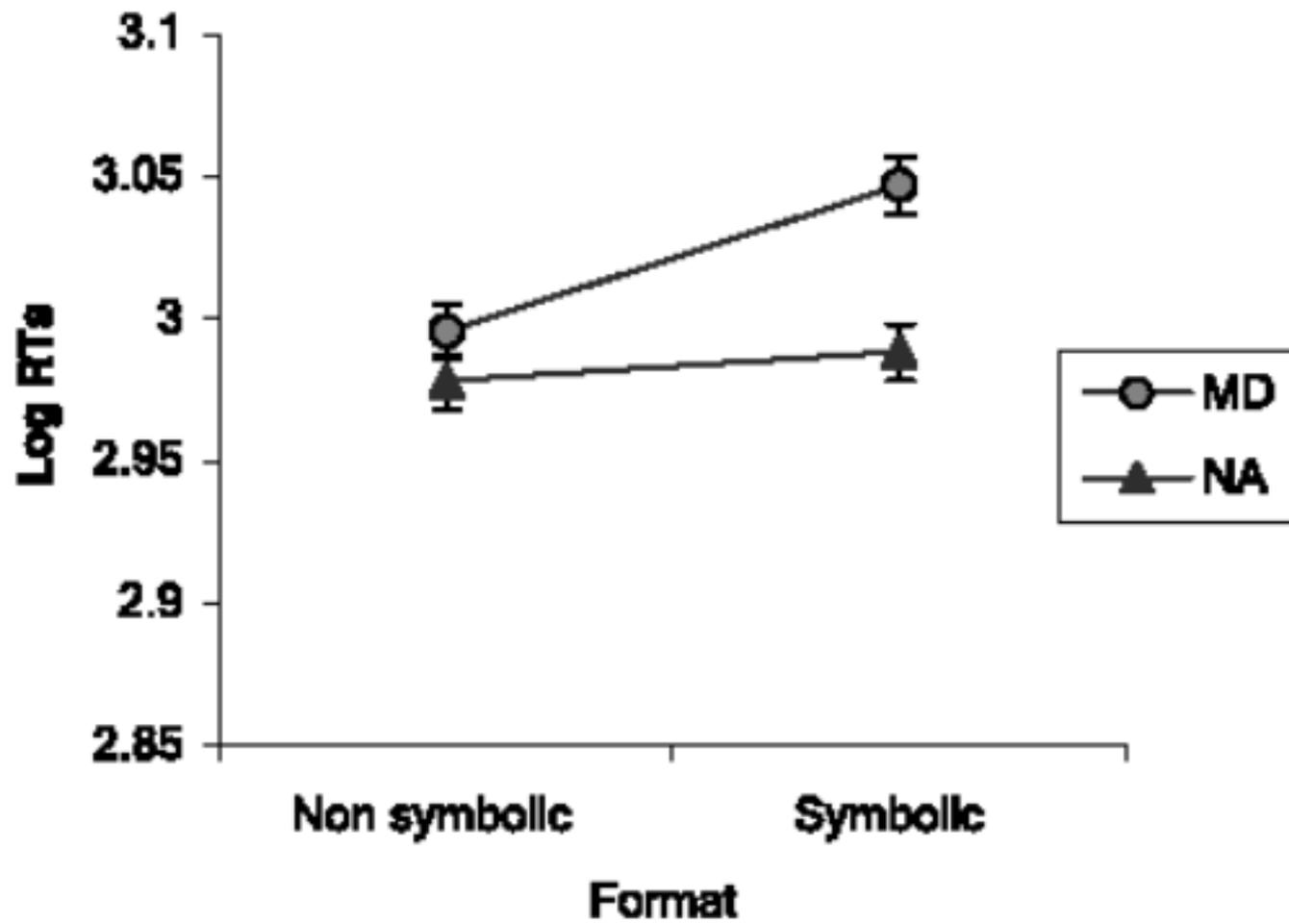
Comparaison de chiffres Arabes



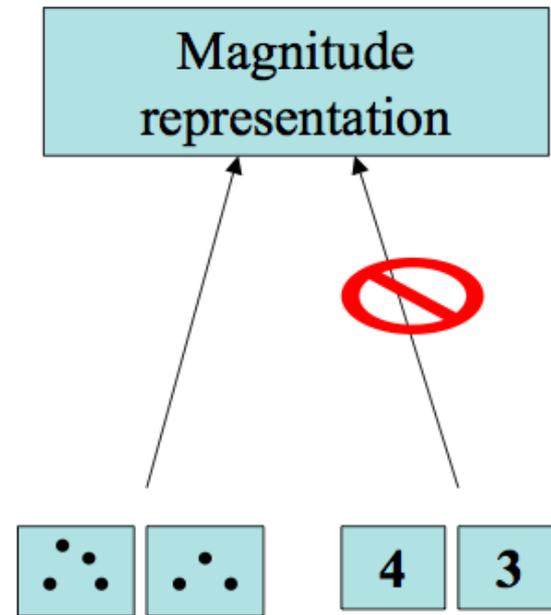
MD= DC et DC-DL
NA=contrôles

Comparaison de collections





Conclusion

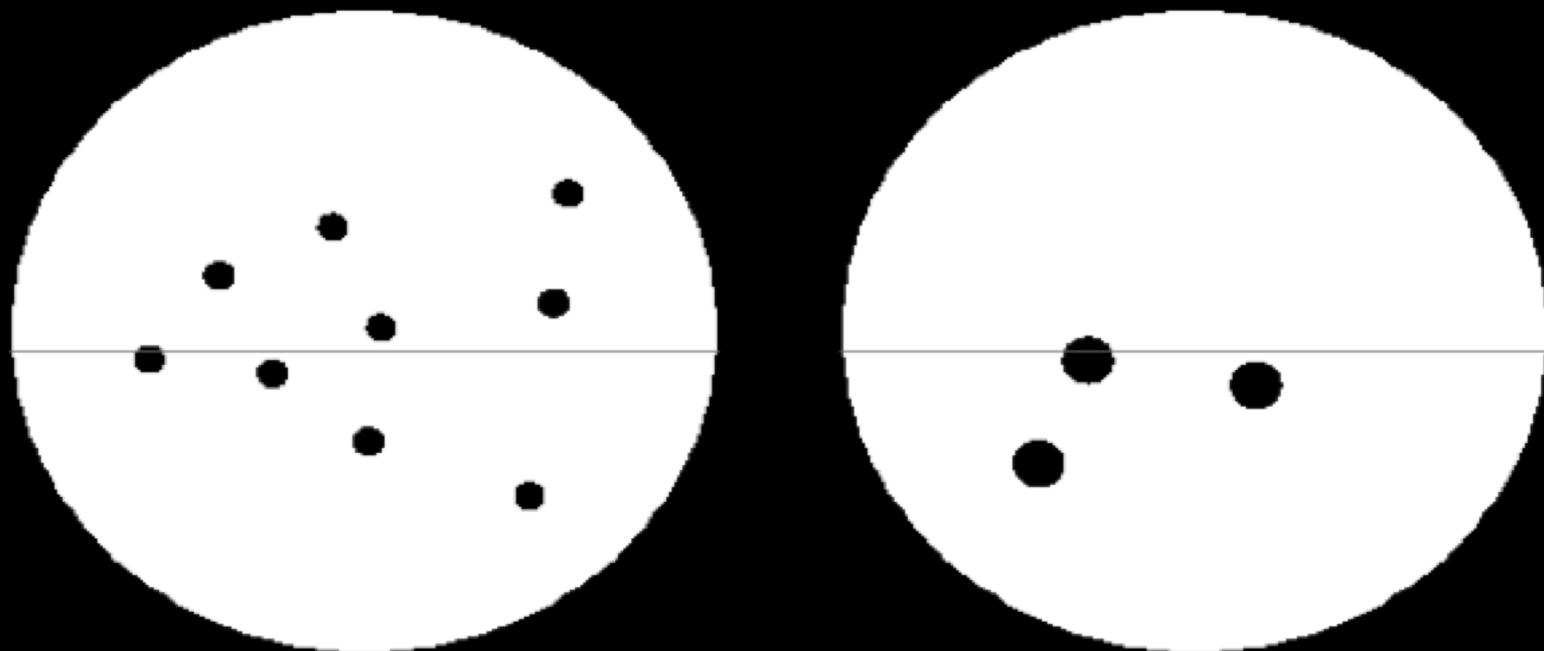


⇒ La représentation de la magnitude est préservée

⇒ Difficultés à accéder à la représentation de la magnitude à partir de codes symboliques

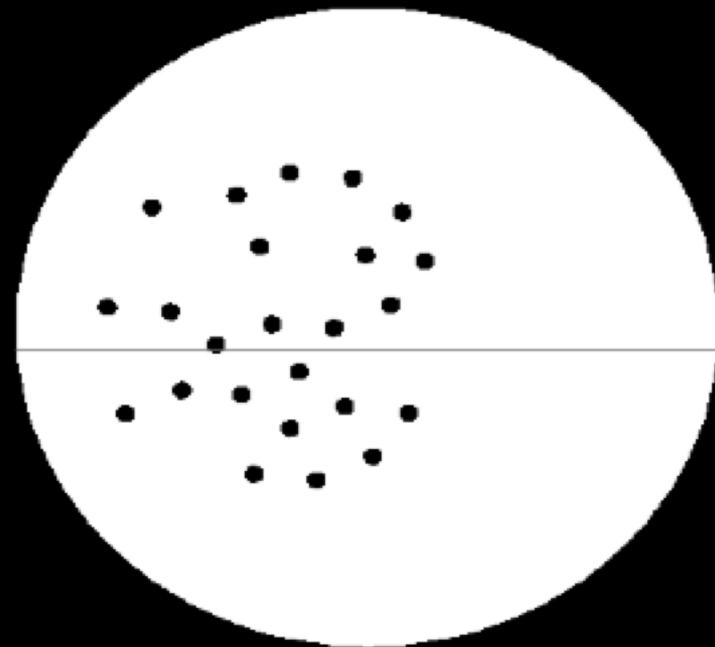
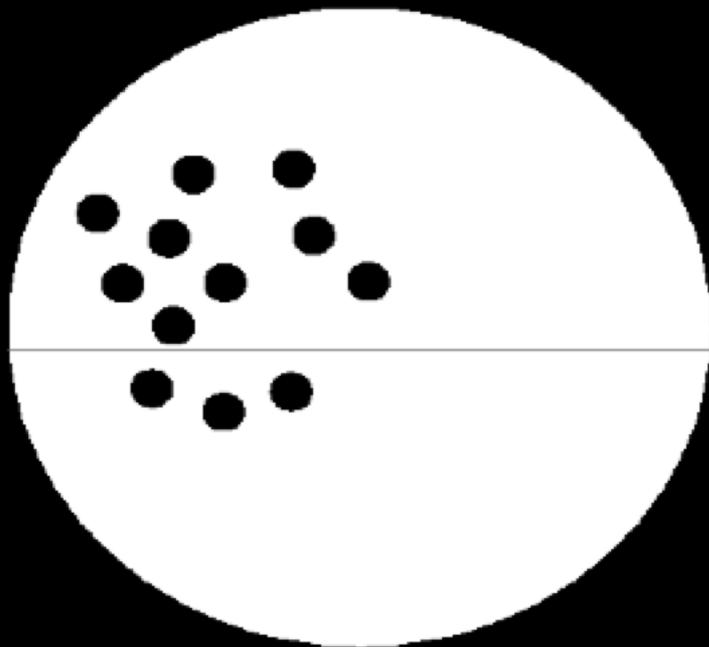
plusieurs études comparant la performance d'enfants DD et d'enfants sans difficulté d'apprentissage dans des tâches de comparaison de collections n'ont mis en évidence aucune différence significative entre les deux groupes (De Smedt & Gilmore, 2011 ; Iuculano, Tang, Hall, & Butterworth, 2008 ; Landerl & Kölle, 2009 ; Rousselle & Noël, 2007). Cependant, dans toutes ces études, les enfants DD se montraient moins performants que les enfants contrôles dans des tâches de comparaison de nombres arabes (et dans celles de calcul). En conséquence, Rousselle et Noël (2007) ont proposé que le déficit central dans la dyscalculie ne concernerait pas l'ANS lui-même, mais bien l'accès à la représentation de la magnitude numérique à partir des codes symboliques.

Approximate number: Demonstration

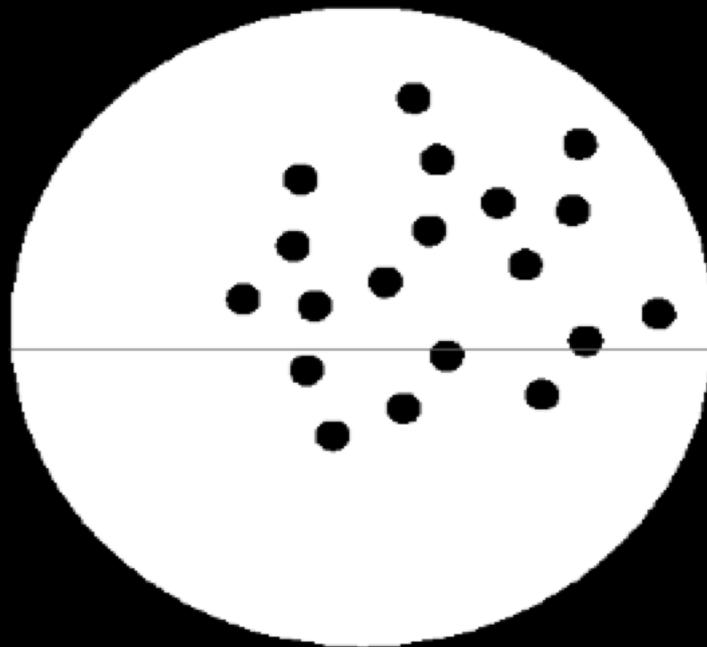
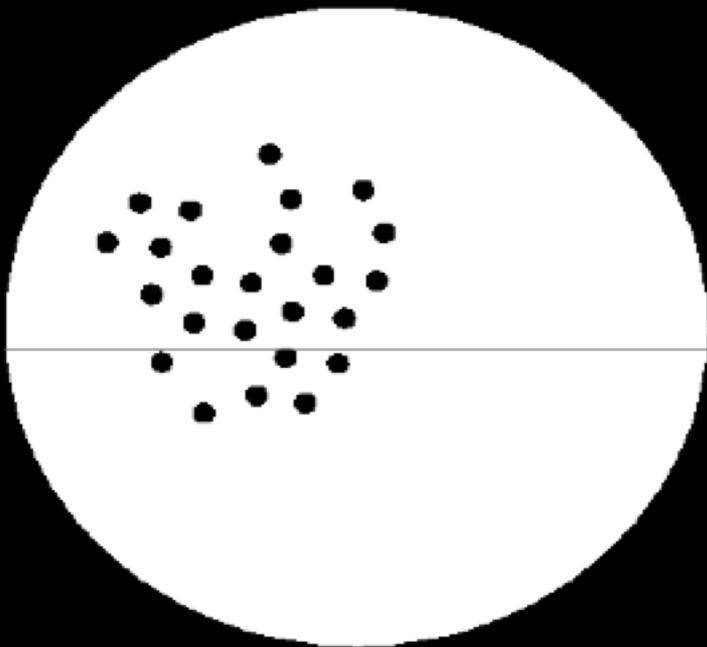


Which side has more dots?

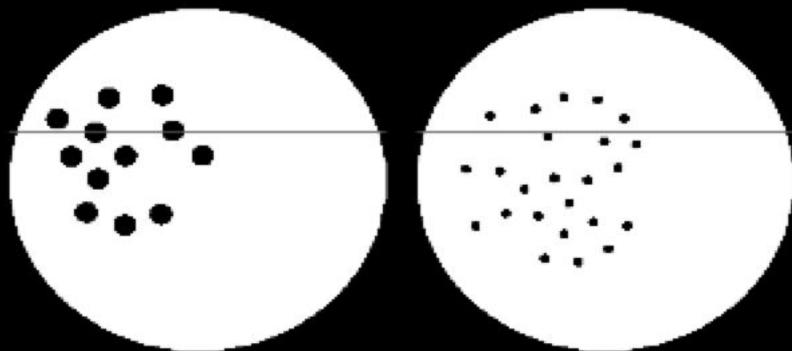
+



+

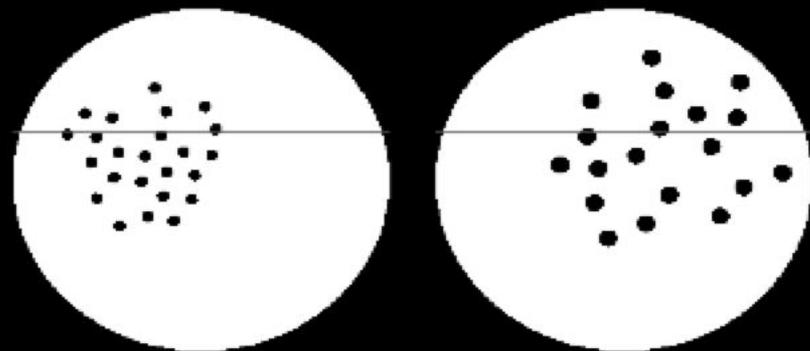


+



Ratio = 0.5

Faster, more accurate



Ratio = 0.79

Slower, less accurate

Références	Âge	Symbolique	Non symbolique
De Smedt et al. (2011)	6 ans	DD<C	DD=C
Rousselle et al. (2007)	7 ans	DD<C	DD=C
Landerl et al. (2004)	8-9 ans	DD<C	-
Iuculano et al. (2008)	8-9 ans	DD<C	DD=C
Landerl & Kölle (2009)	8-9-10 ans	DD<C	DD=C
Landerl, Fus-senegger et al. (2009)	8-9-10 ans	DD<C	DD<C
Piazza et al. (2011)	10 ans	-	DD<C
Mussolin et al. (2010)	10-11 ans	DD<C	DD<C
Price et al. (2007)	12 ans	-	DD<C
Mazzocco et al. (2011)	14 ans	-	DD<C

Ainsi, le premier déficit observé chez les enfants DD ne concernerait pas le traitement de la magnitude numérique en soi, mais bien l'accès à cette représentation à partir des codes symboliques (nombres arabes ou mots). Le déficit observé dans le traitement des collections n'apparaît que secondairement (Noel et al., 2013)

Conceptual Size in Developmental Dyscalculia and Dyslexia

Yarden Gliksman and Avishai Henik
Ben-Gurion University of the Negev

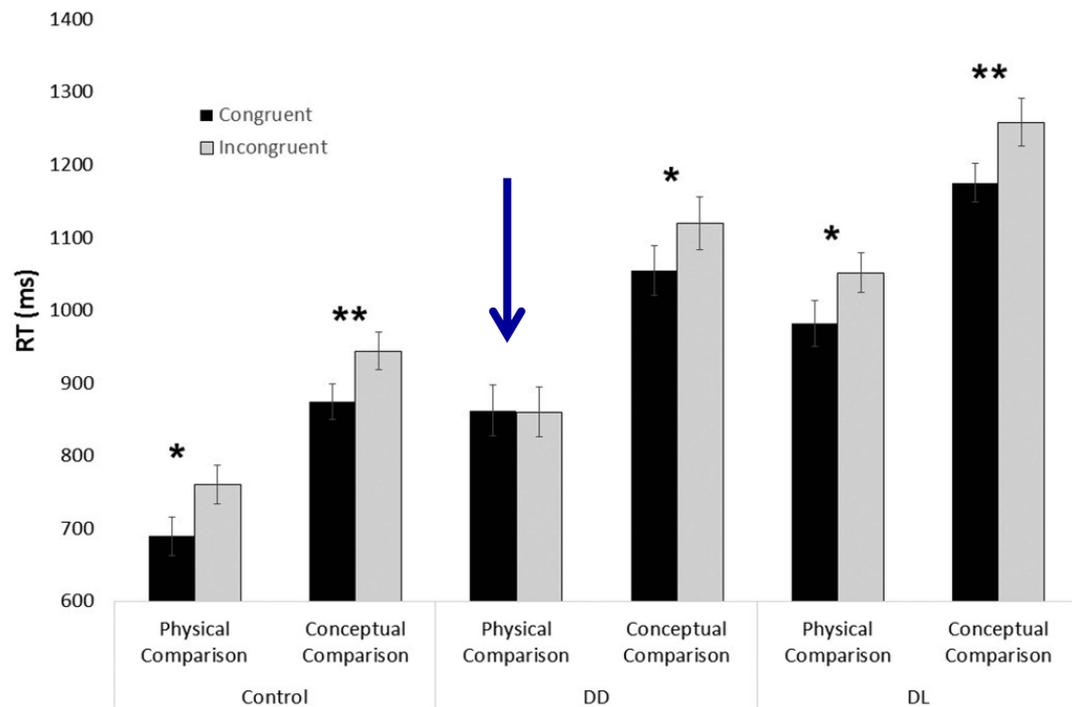


Figure 2. Reaction time (RT) as a function of group, task, and congruity. DD = developmental dyscalculia; DL = developmental dyslexia. * $p < .05$. ** $p < .01$.

What is larger?



Children refer to conceptual sizes of objects before formal education of symbolic numerals, and our results support the assumption that evaluating sizes is one of the building blocks of arithmetic abilities. One immediate educational implication is that it is important for kindergarten and first-grade teachers to introduce children to different types of sizes—specifically, to conceptual size—and encourage them to imagine and associatively play with these sizes.

Absence d'effet de l'incongruïté de taille sur le jugement de taille physique : les dyscalculiques ont un déficit général d'accès automatique à la magnitude : symbolique, non symbolique et jugement conceptuel

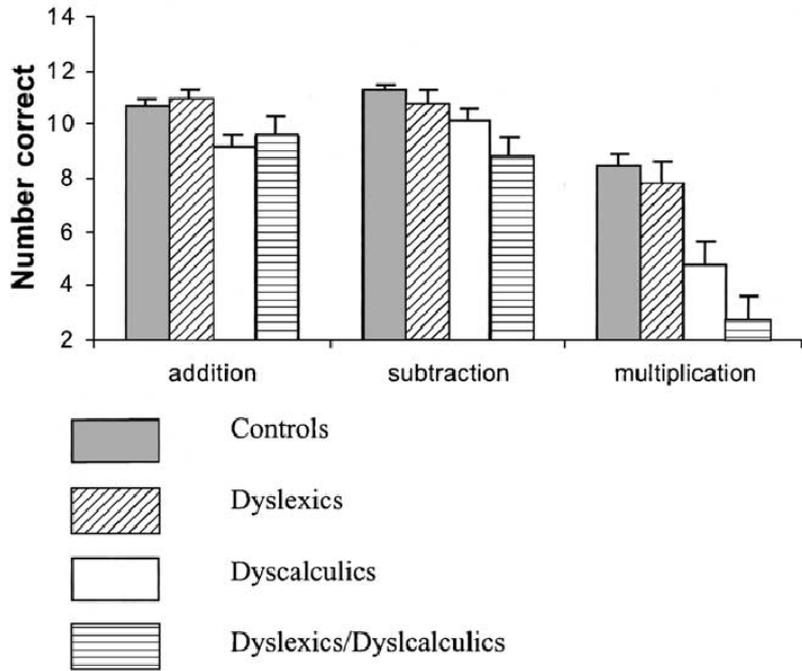
Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8–9-year-old students

Karin Landerl^{a,b}, Anna Bevan^a, Brian Butterworth^{a,*}

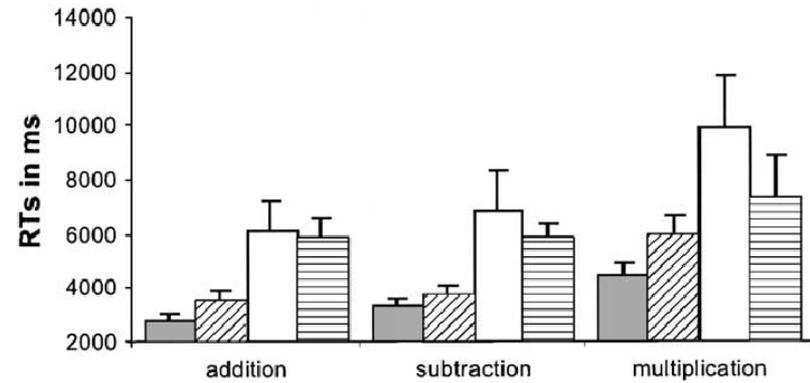
Subject details

	Control (<i>N</i> = 18)	Dyslexic (<i>N</i> = 10)	Dyscalculic (<i>N</i> = 10)	Double deficit (<i>N</i> = 11)
Age (months)	108.7 (8.6)	110.1 (5.9)	103.7 (6.0)	103.9 (5.7)
Raven CPM (raw scores)	28.8 (3.4) ^a	29.7 (3.7)	28.5 (3.8) ^b	27.0 (3.4) ^c
BAS reading (RA-CA in months)	−0.94 (6.9)	−19.90 (4.8)	−6.30 (6.4)	−19.73 (6.6)
BAS numeracy (NA-CA in months)	5.72 (8.1)	0.90 (5.5)	−8.20 (10.4)	−7.18 (8.3)

Arithmetic facts: accuracy

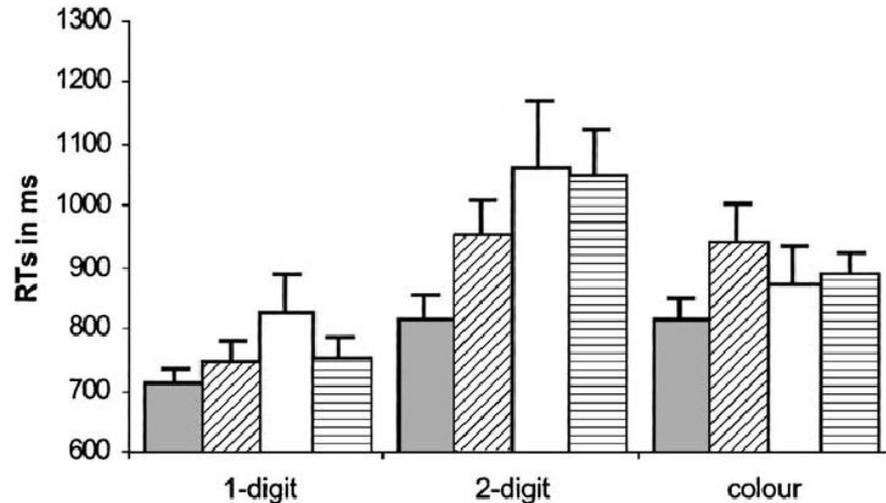


Arithmetic facts: RTs

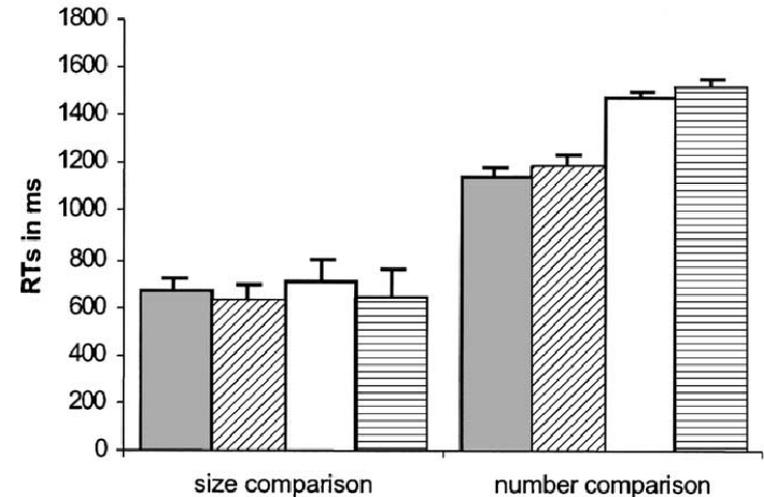


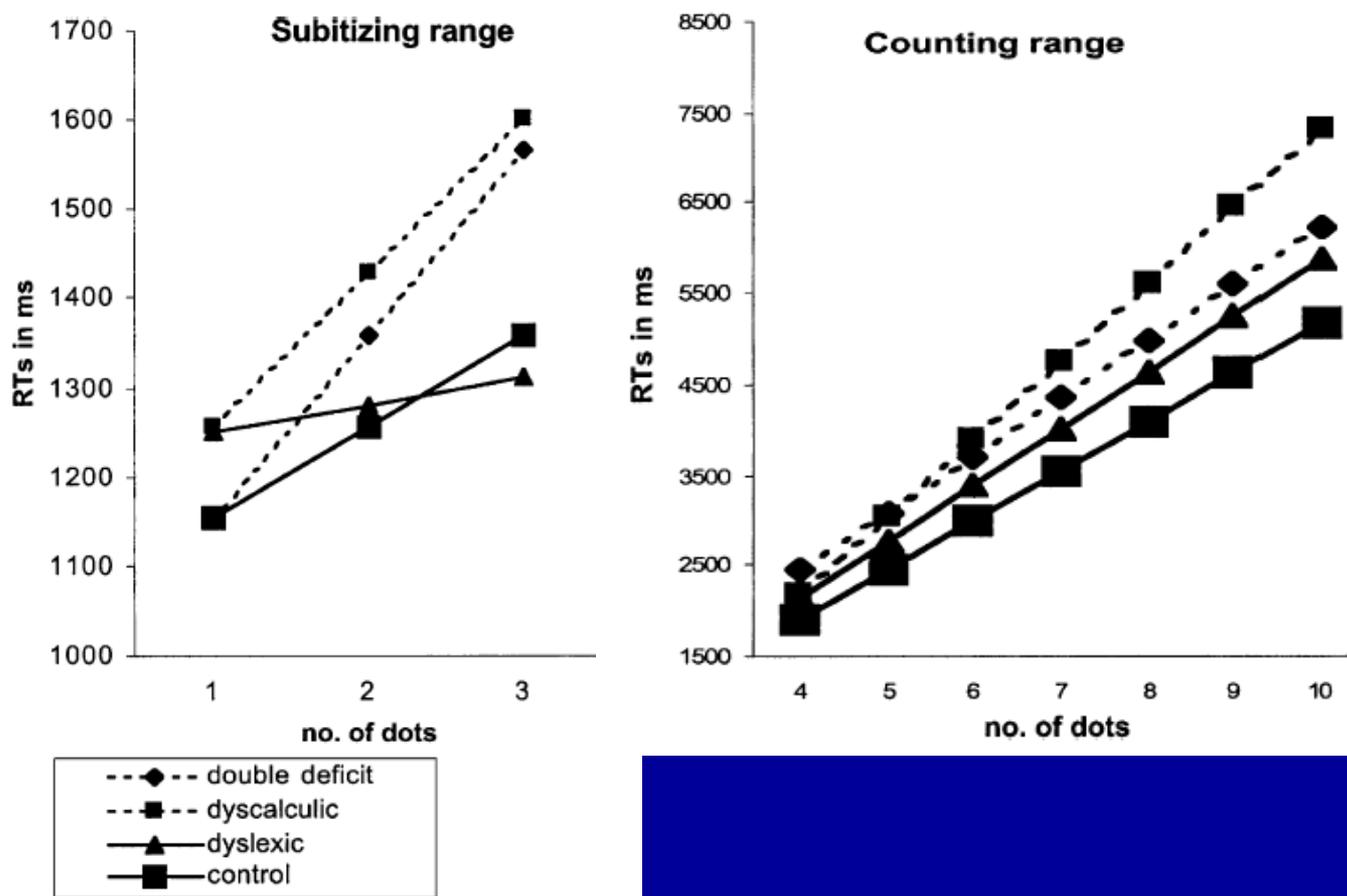
Globalement les dyscalculiques et mixtes se comportent de manière similaire et notablement différente des dyslexiques et des témoins : contre les théories suggérant différents sous-groupes de dyscalculiques

Naming



Size and number comparison

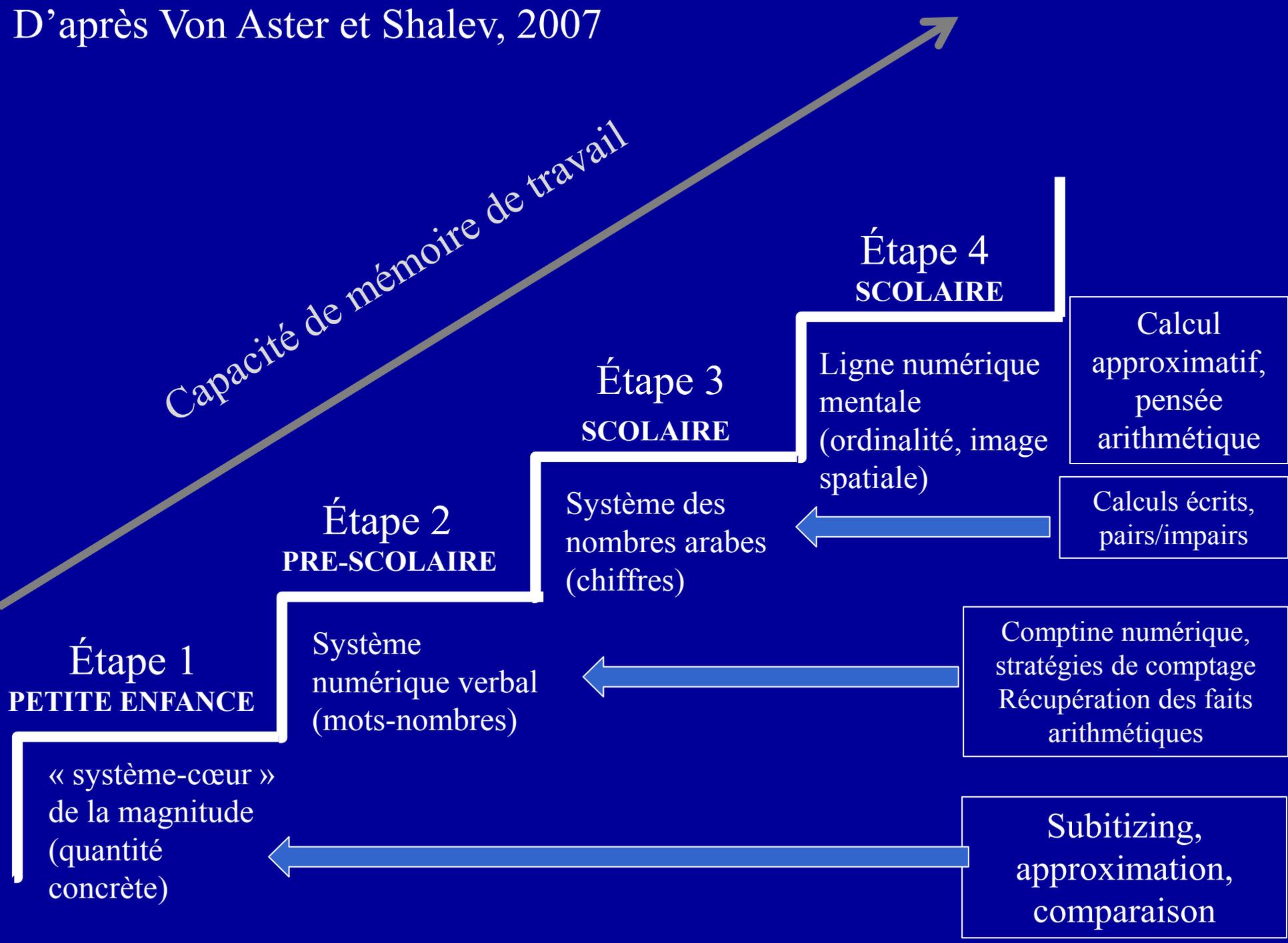


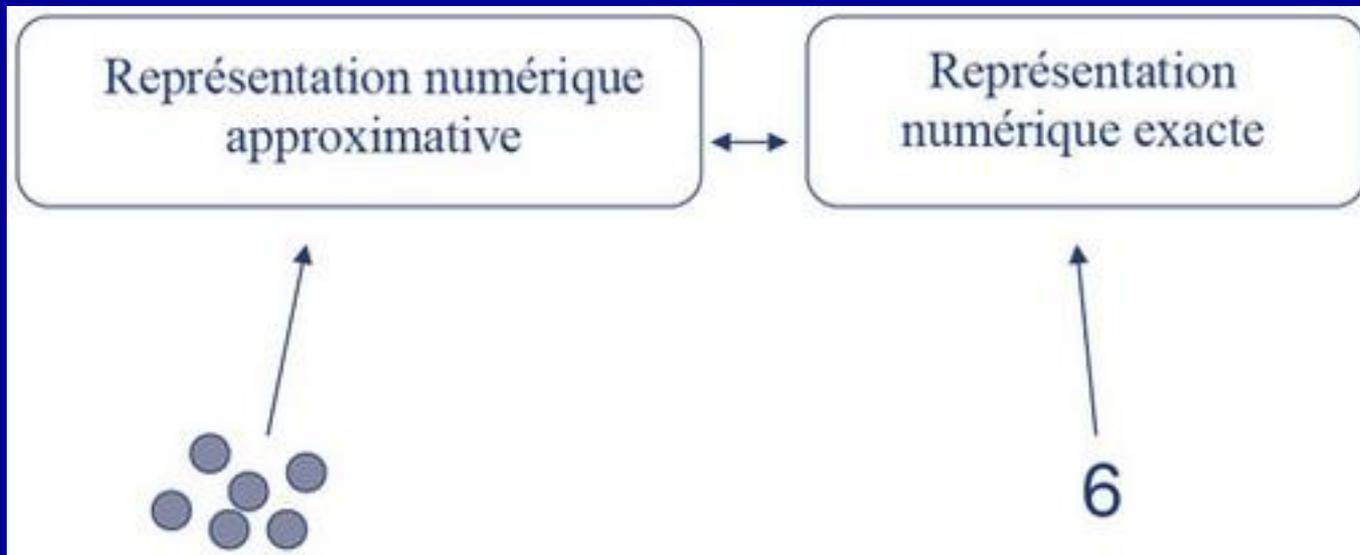
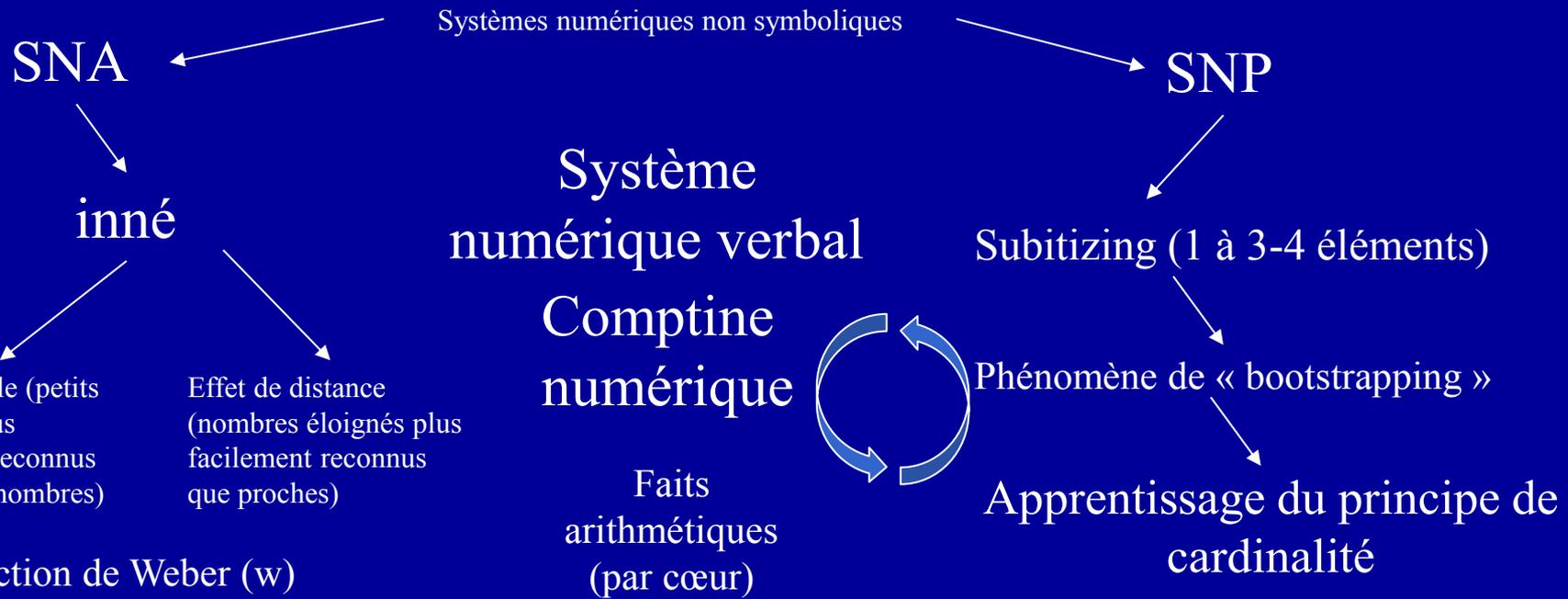


Pente plus abrupte chez dyscalculiques et doubles déficits : pas de stratégie de subitizing + comptage des petites quantités

"We suggest that lack of understanding of numerosity, and a poor capacity to recognize and discriminate small numerosities—as revealed in performance on dot tasks—may prevent dyscalculics developing the normal meanings for numerical expressions and lead to their difficulties in learning and retaining information regarding numbers"

D'après Von Aster et Shalev, 2007





en dénombrant les petites collections, (via la routine du comptage), l'enfant peut alors associer un mot-nombre à une collection précise. Il peut ainsi comprendre le principe de cardinalité et inférer sur la suite de la comptine numérique et le lien à de plus grandes collections.

Deuxième conclusion

- Il existe une convergence d'arguments suggérant un déficit de l'accès automatique à la représentation de la magnitude chez les dyscalculiques:
 - Altération de la reconnaissance des petites numérosités
 - Altération de l'effet de distance
 - Altération de l'effet Stroop numérique
- Ce déficit concerne les comparaisons symboliques comme non symboliques, avec toutefois une altération plus nette pour les symboliques
- En outre, les deux systèmes non symboliques (précis= subitizing et approximatif) seraient déficitaires

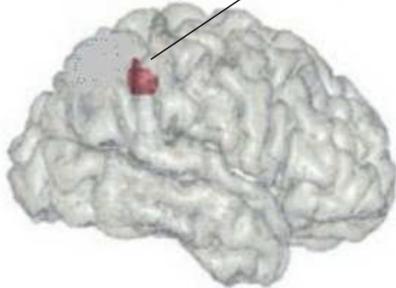
IV/ Apport des études d'imagerie chez les dyscalculiques

Déficit du sens du nombre

Sillon intrapariétal (HIPS)

Argument neurologique

Hémisphère droit



Molko & al. (2003) : 14 adultes atteints du syndrome de Turner avec difficultés arithmétiques, anomalies fonctionnelles et structurales au niveau du sulcus intrapariétal droit.

Price & al (2007) : IRMf, déficit d'activation du sulcus intrapariétal dans des tâches numériques, une tâche de comparaison d'ensembles de points.

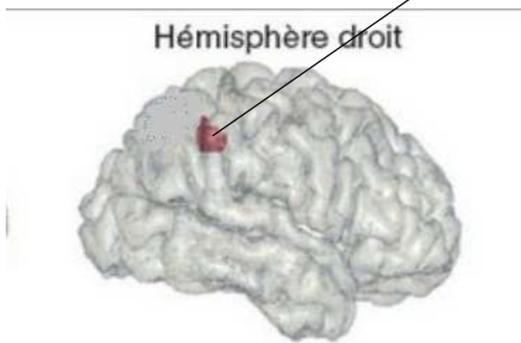
Kucian & al. (2011) : IRMf (enfants DC 8-10 ans) : plus faible activation des aires pariétales bilatérales.

Anomalies fonctionnelles

Faible activation

Déficit du sens du nombre

Argument neurologique



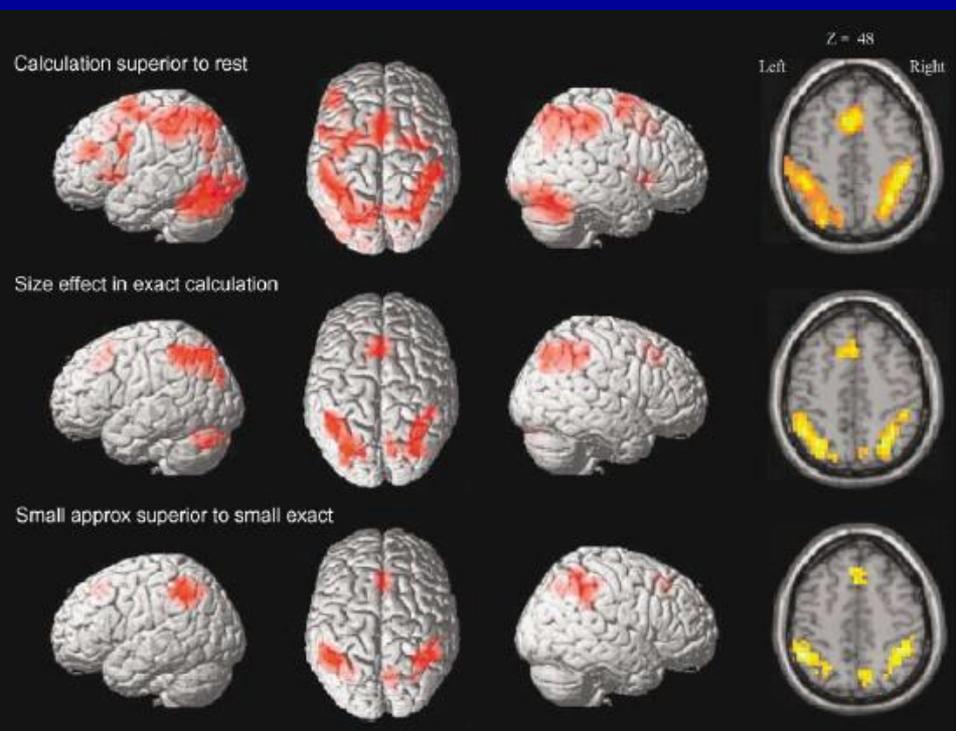
Sillon intrapariétal (HIPS)

Anomalies structurelles

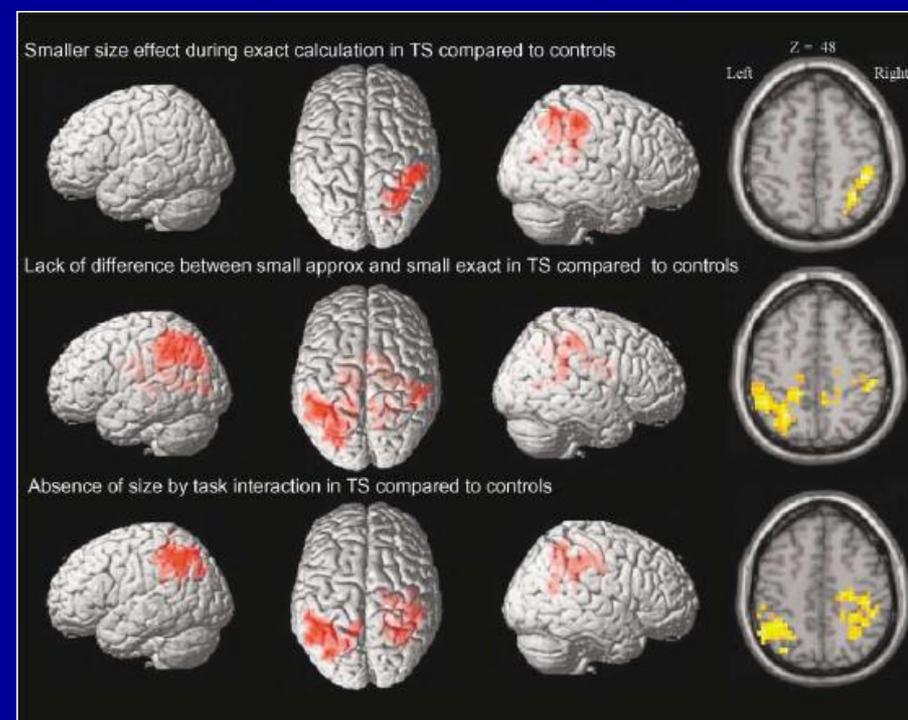
Moins de matière grise

Rotzer et al. (2008) : DC 9 ans, anomalies dans le sulcus intrapariétal droit
Isaac & al. (2001) : DC adolescents, plus faible volume de matière grise dans l'aire pariétale gauche que les pairs prématurés non DC.
Molko & al. (2003) : 14 adultes atteints du syndrome de Turner avec difficultés arithmétiques, anomalies fonctionnelles et structurales au niveau du sulcus intrapariétal droit.
Barnea-Goraly & al. (2005) : adolescents de 12 ans atteints du syndrome vélocardiofacial avec troubles arithmétiques, anomalies structurelles au niveau de la matière blanche du sulcus intrapariétal gauche, du gyrus angulaire gauche et du gyrus supramarginal gauche ; anomalies corrélées au score en arithmétique.

Functional and Structural Alterations of the Intraparietal Sulcus in a Developmental Dyscalculia of Genetic Origin

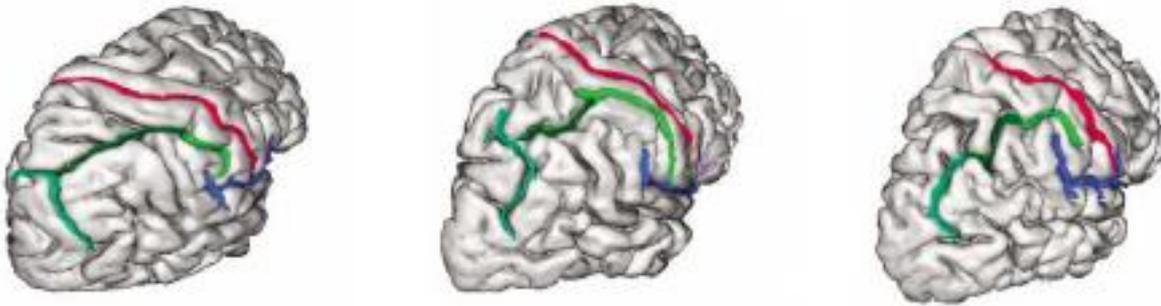


témoins



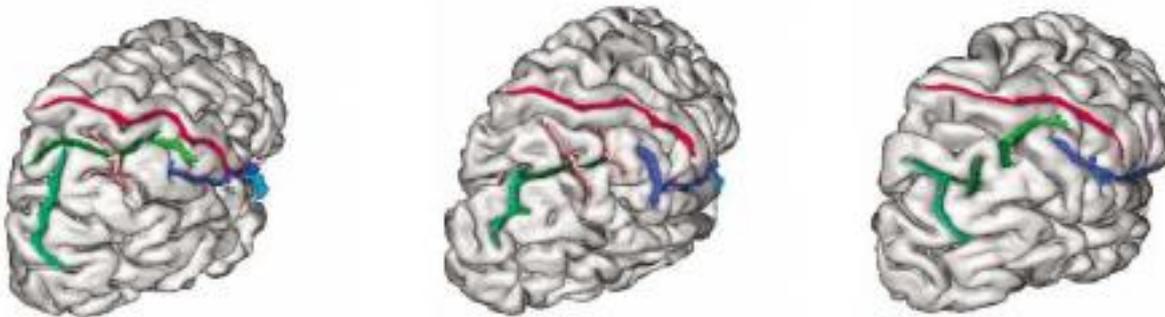
Syndrome de Turner
(X seul, 1F / 2500)

Normal variability of the right IPS in three controls



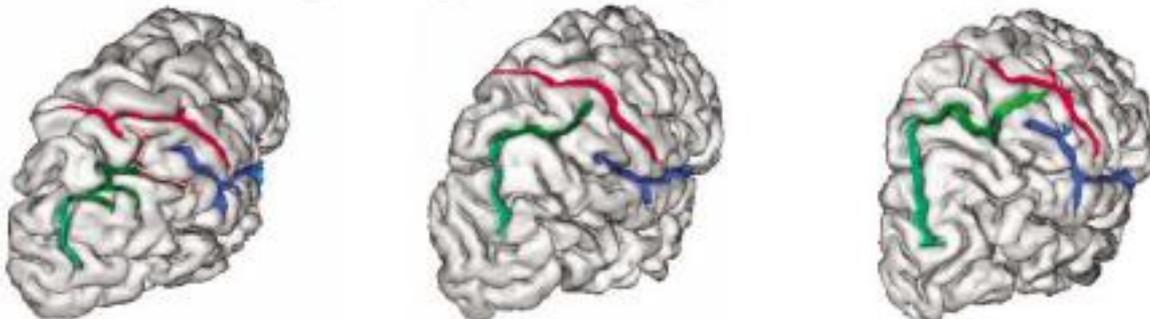
Témoins variations normales IPS

Unusual interruption of the horizontal portion of the right IPS in three TS subjects



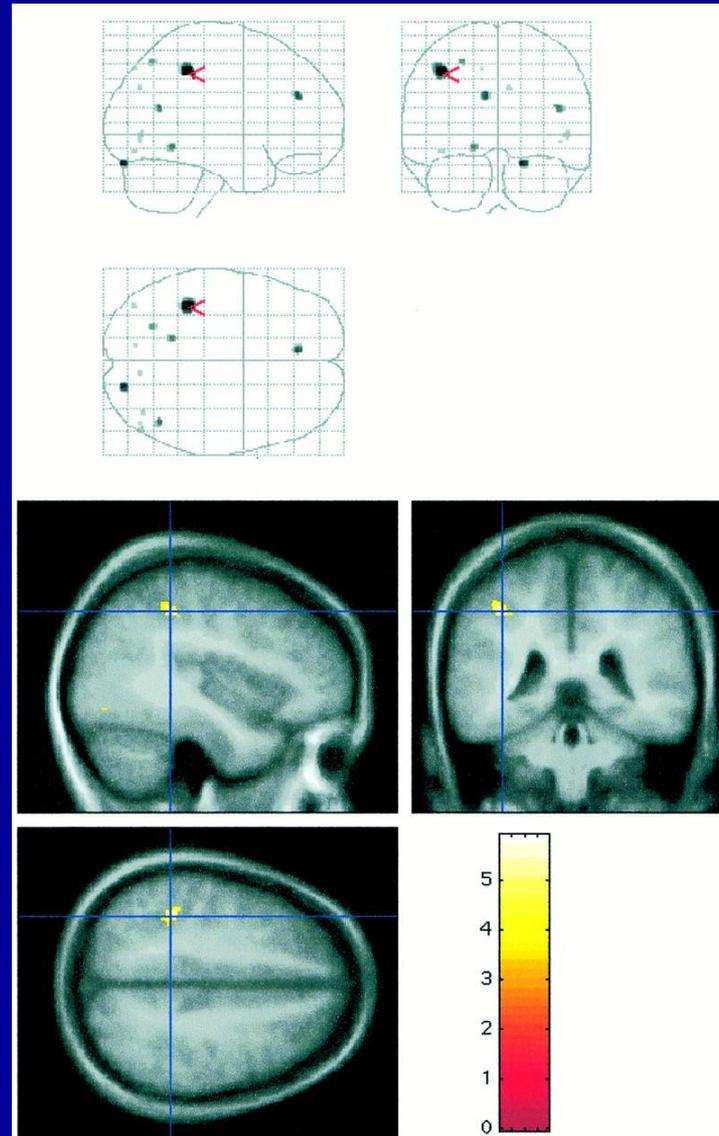
S de Turner :
Interruptions anormales

Abnormal shape and segmentation of the right IPS in three TS subjects



S. De Turner :
Anomalies de direction et ou branches

Reduced grey matter in VLBW adolescents poor on simple number tests



From Isaacs et al,
Brain, 2001

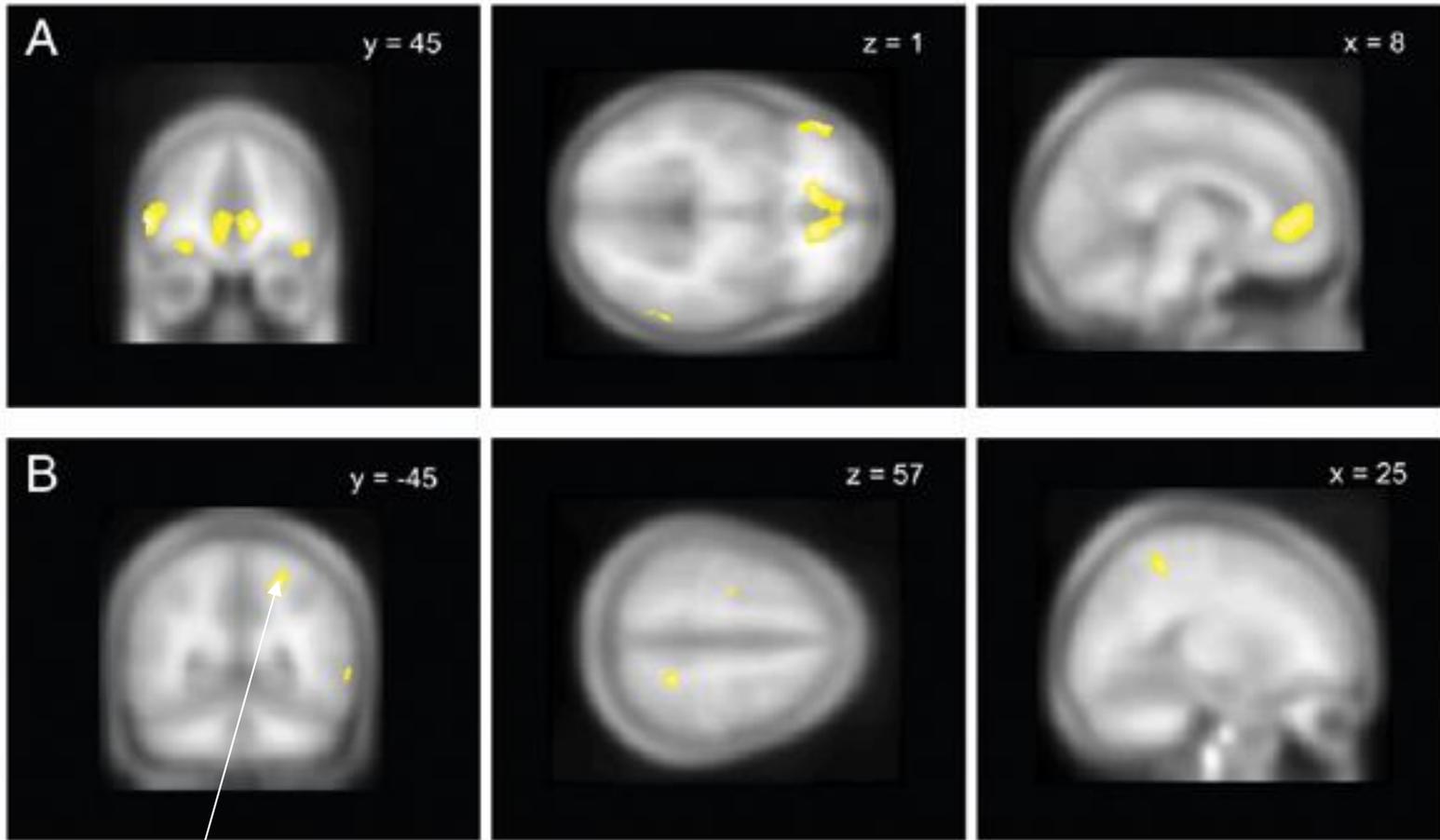
Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia

S. Rotzer,^{a,*} K. Kucian,^{a,1} E. Martin,^a M. von Aster,^{a,c} P. Klaver,^a and T. Loenneker^{a,b}

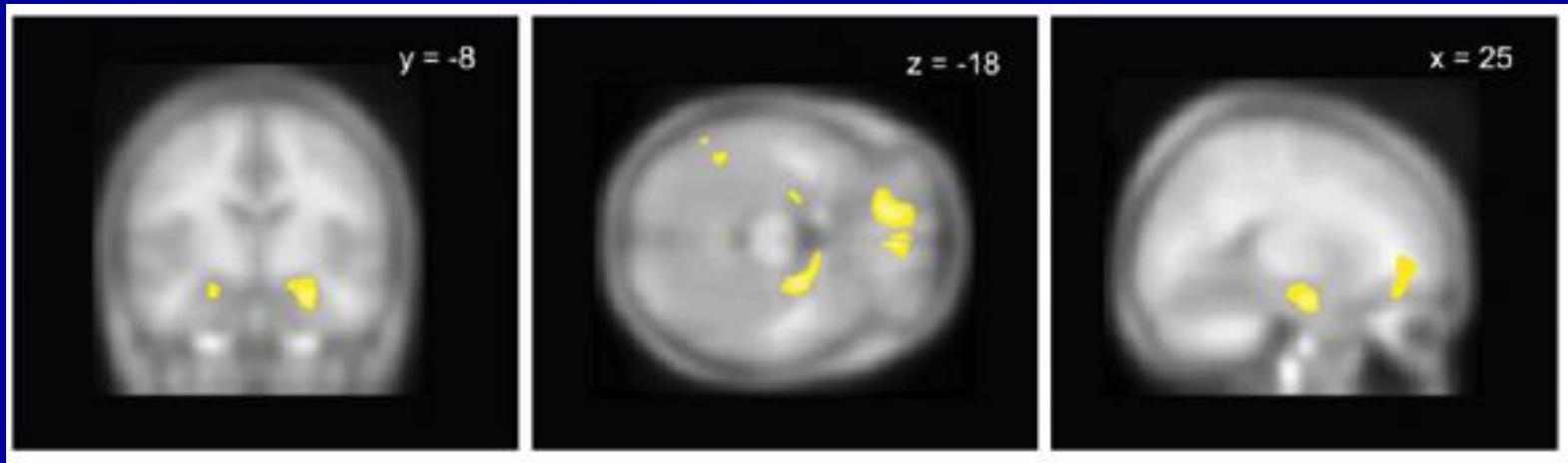
^aUniversity Children's Hospital, MR-Center, Steinwiesstrasse 75, CH-8032 Zurich, Switzerland

^bCenter for Integrative Human Physiology, University of Zurich, Switzerland

^cDepartment of Child and Adolescent Psychiatry, German Red Cross Hospitals Westend, Berlin, Germany



Right intra-parietal sulcus
controls more grey matter



White matter : decreased right para-hippocampal volume (spatial memory)

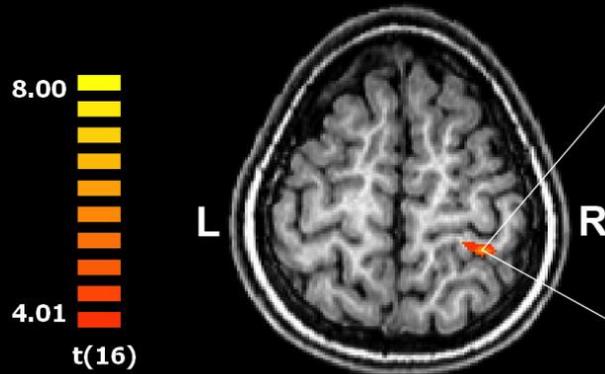
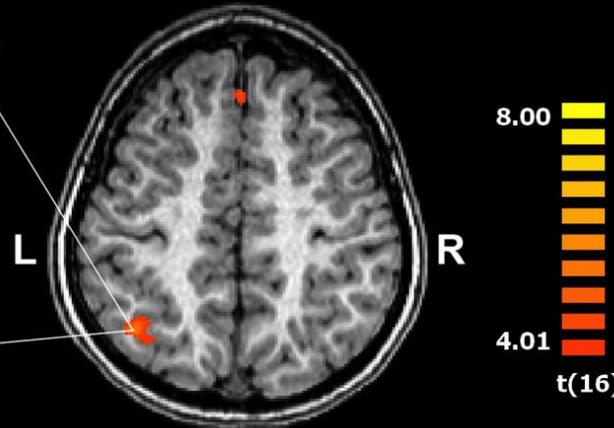
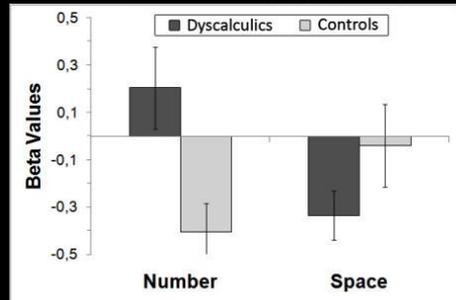
Research

Open Access

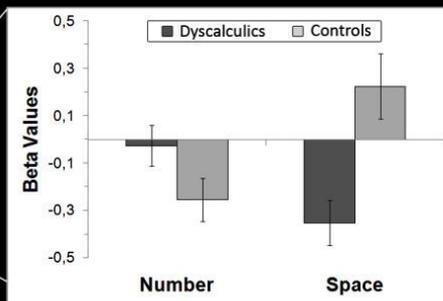
Developmental dyscalculia: compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic magnitudes

Liane Kaufmann^{*1,2}, Stephan E Vogel^{1,3}, Marc Starke^{2,3}, Christian Kremser⁴, Michael Schocke⁴ and Guilherme Wood^{2,5}

Left inferior parietal lobe (x,y,z) = -39, -58, 43



Right inferior parietal lobe (x,y,z) = 30, -40, 55



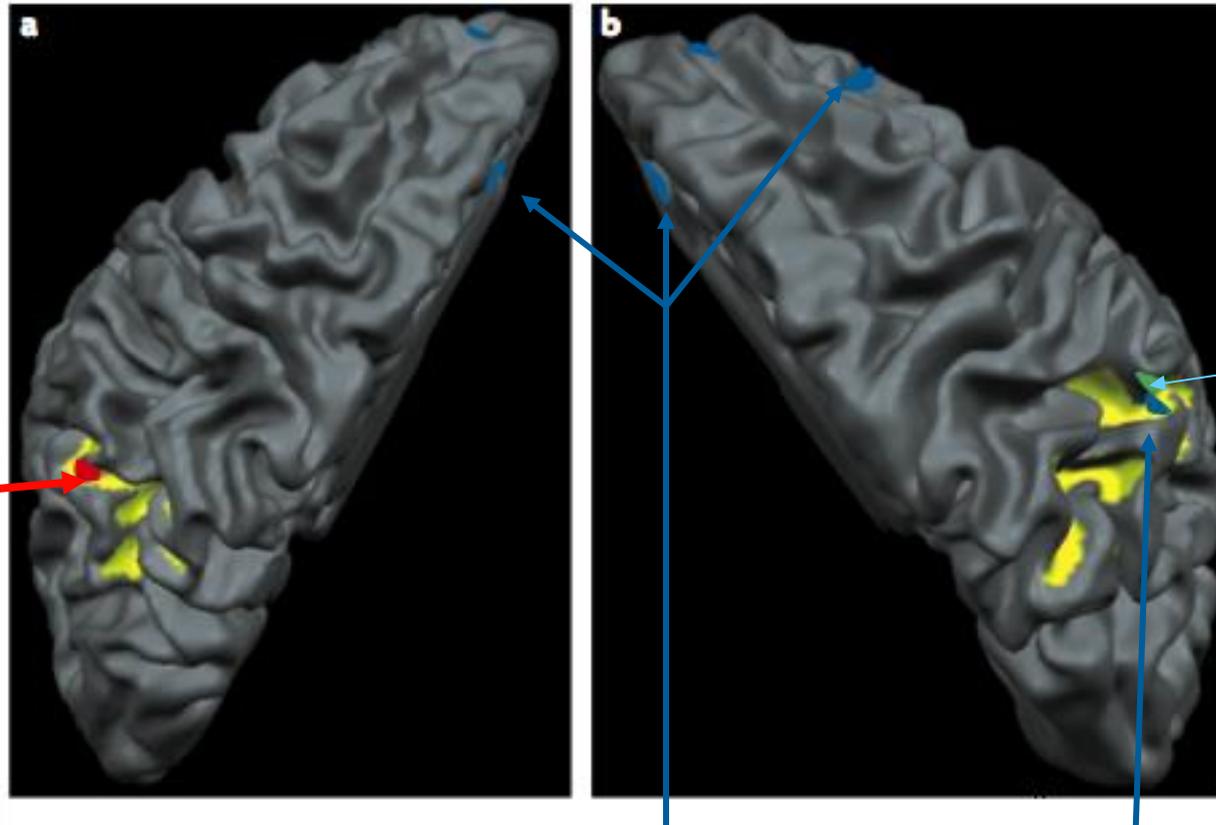
Stimuli : paires de mains représentant des numérosités de face palmaire ou dorsale

Condition "nombre" : comparaison de numérosité

Condition "espace" : comparaison d'orientation (dos/palme)

Dyscalculiques : moindre déactivation en condition "nombre" dans IPS droit + suractivation compensatoire dans IPS gauche

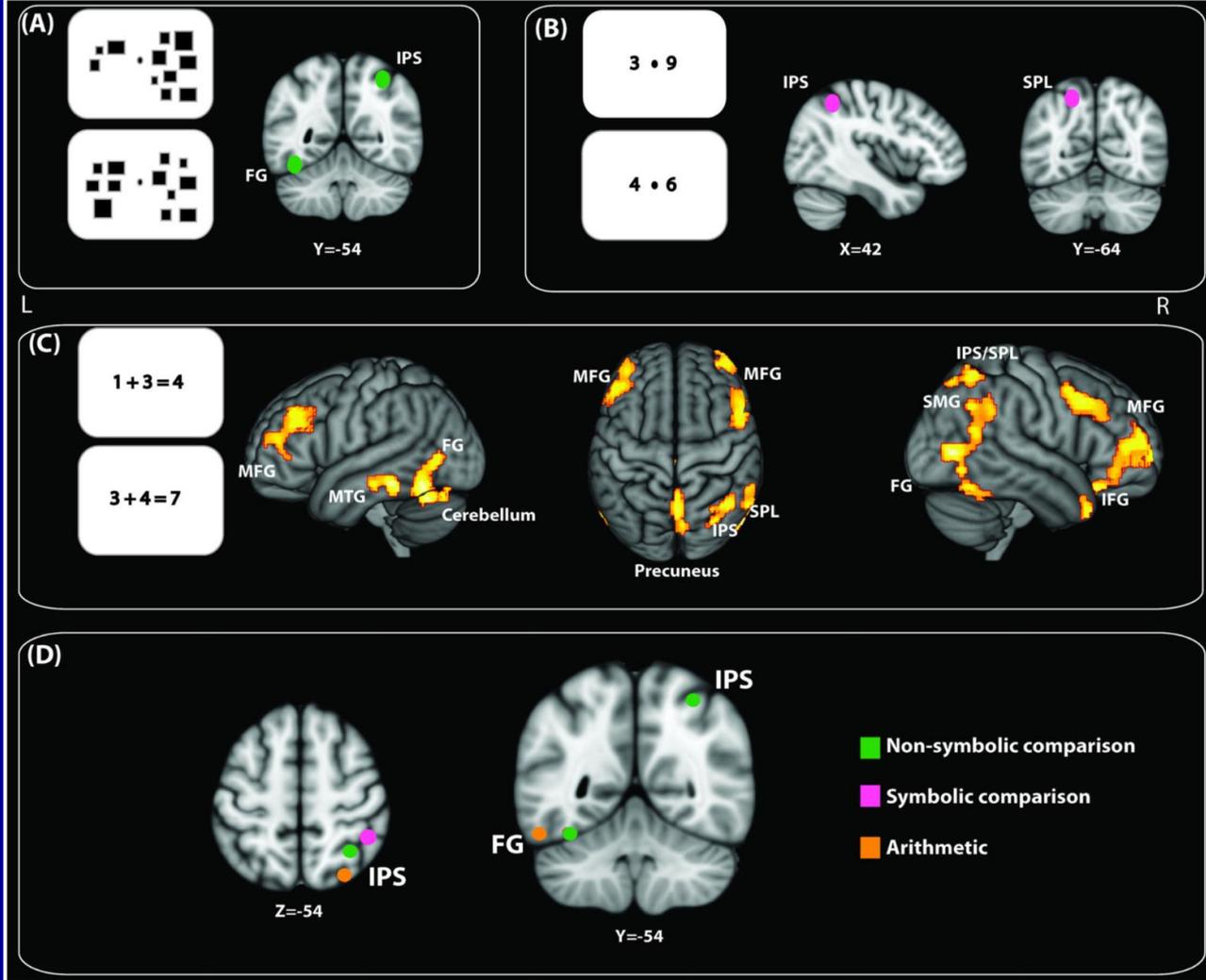
Box 1 | Neural basis of developmental dyscalculia



Low birth weight and dyscalculia (Isaacs et al., 2001)

magnitude comparison task : although the non-symbolic numerical distance task significantly modulated activity in the right IPS in the typically developing participants, this effect was absent in the children with developmental dyscalculia (Price et al., 2007)

children with developmental dyscalculia have less right-parietal grey matter and have grey matter abnormalities in regions of the frontal cortex (Rotzer et al., 2008)



Aberrant functional brain responses during numerical tasks in MD. Brain regions that show decreased activation in MD relative to TD during (A) non-symbolic comparison (Price et al. 2007), (B) symbolic comparison (Mussolin et al. 2010), and (C) an arithmetic problem solving task (Ashkenazi et al. 2012).

Correspondences

Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia

Gavin R. Price¹, Ian Holloway²,
Pekka Räsänen³, Manu
Vesterinen¹ and Daniel Ansari²

Activation de l'IPS dans une tâche de comparaison non symbolique

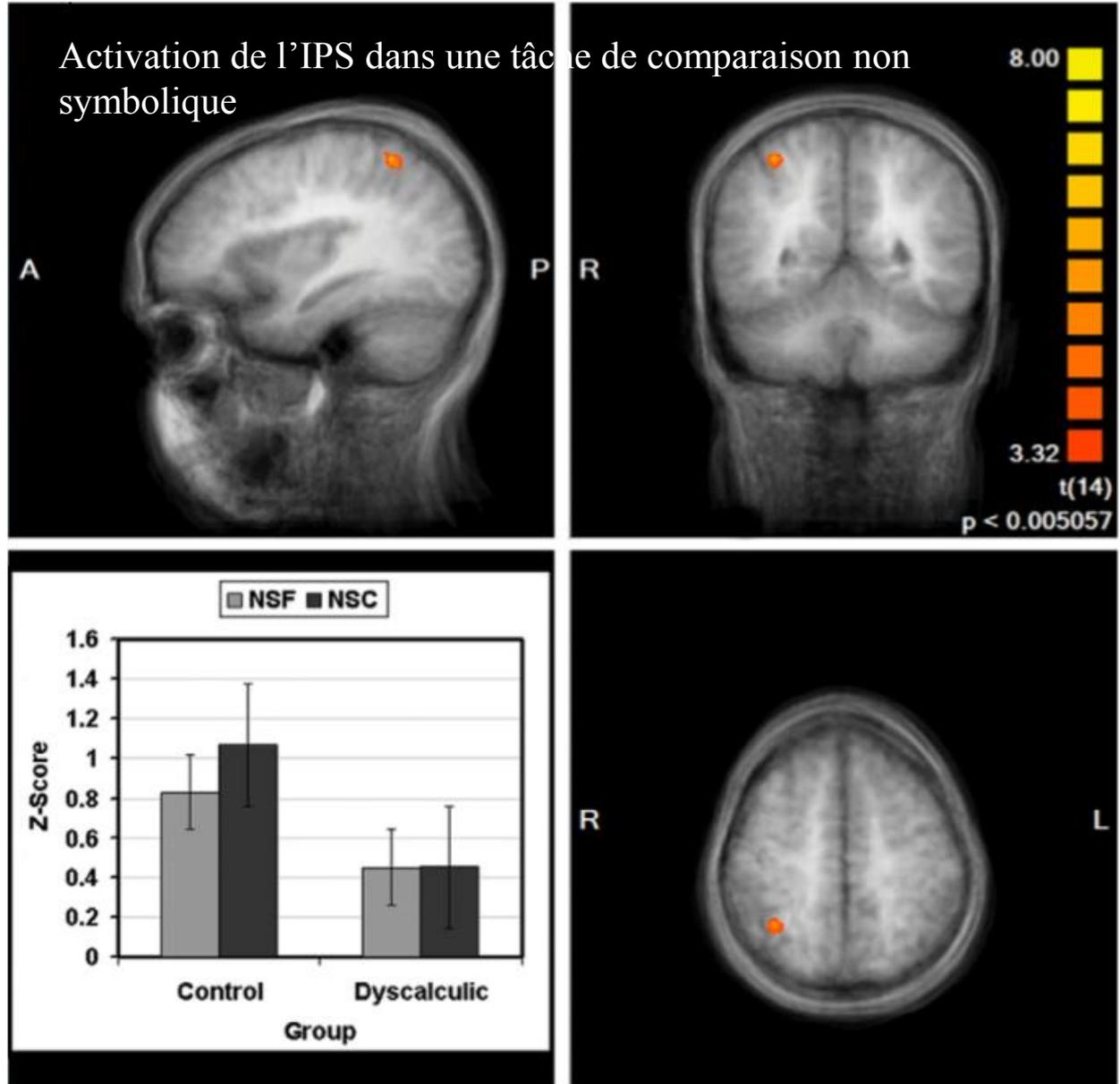
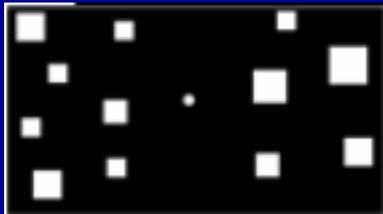


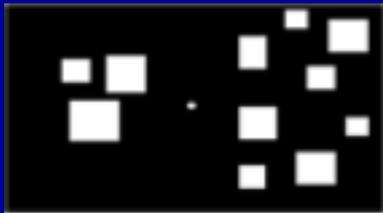
Figure 1. Interaction of group X distance in the right intraparietal sulcus.

Abolition de l'effet de la distance sur le degré d'activation de l'IPS

NSC

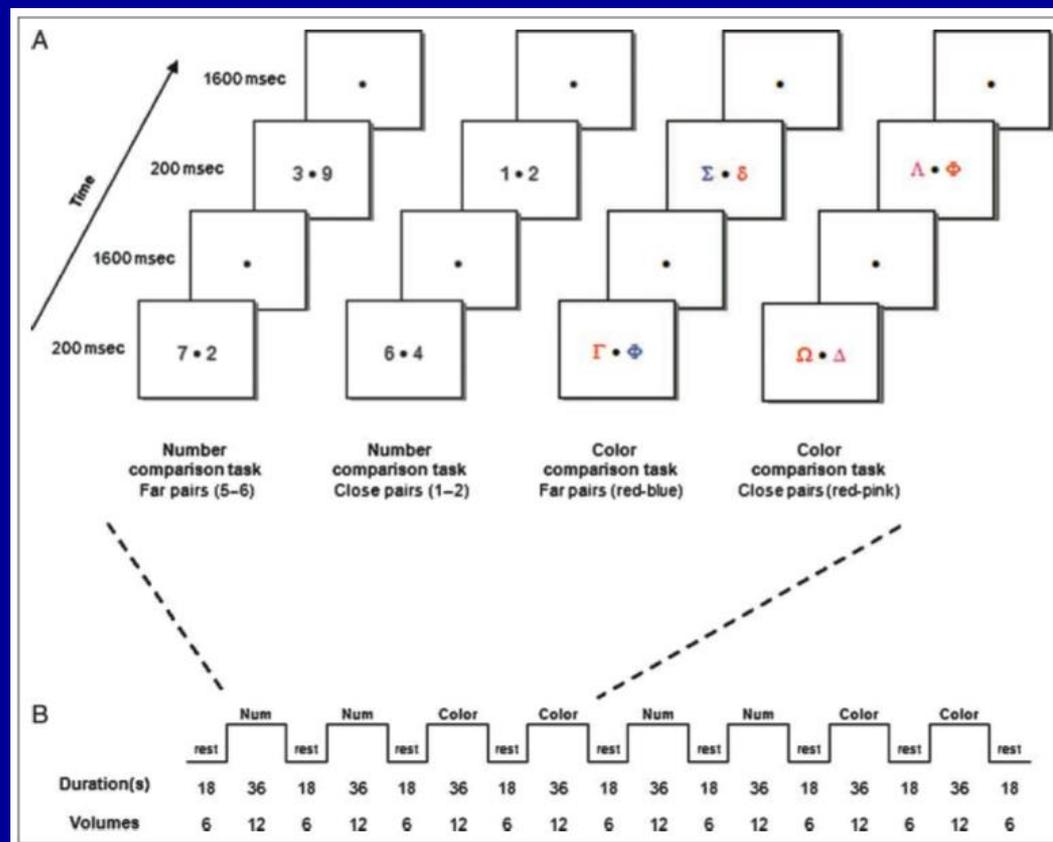


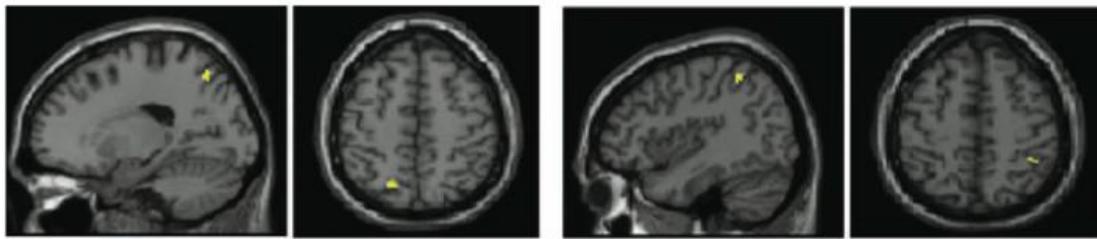
NSF



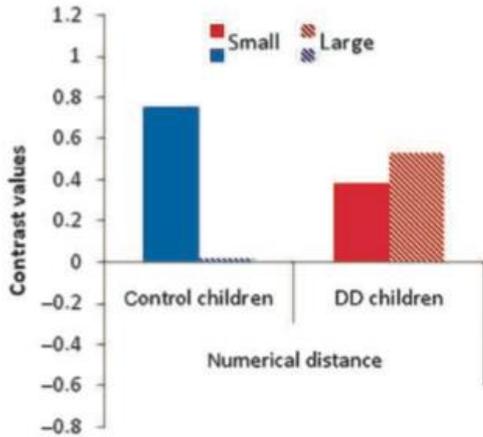
Neural Correlates of Symbolic Number Comparison in Developmental Dyscalculia

Christophe Mussolin¹, Anne De Volder², Cécile Grandin²,
Xavier Schlögel², Marie-Cécile Nassogne², and Marie-Pascale Noël¹

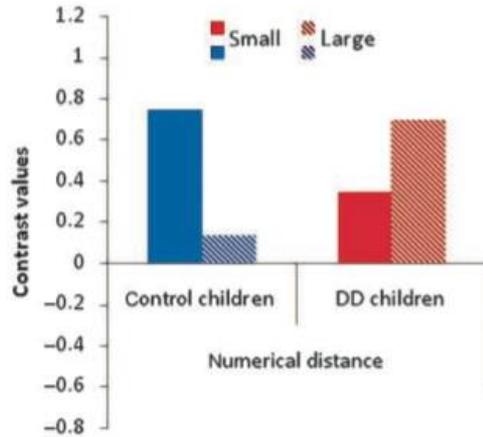




Left SPL (-18 -64 52)

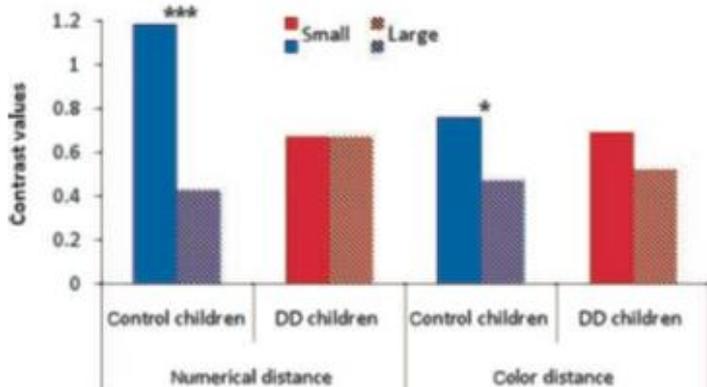


Right IPS (42 -46 54)



Brain activation in bilateral intraparietal sulcus (IPS) was modulated by numerical distance in controls but not in children with DD. Moreover, although the right IPS responded to numerical distance only, the left IPS was influenced by both numerical and color distances in control children. Our findings suggest that dyscalculia is associated with impairment in areas involved in number magnitude processing and, to a lesser extent, in areas dedicated to domain-general magnitude processing.

Left IPS (-24 -60 48)



Right IPS (50 -50 58)

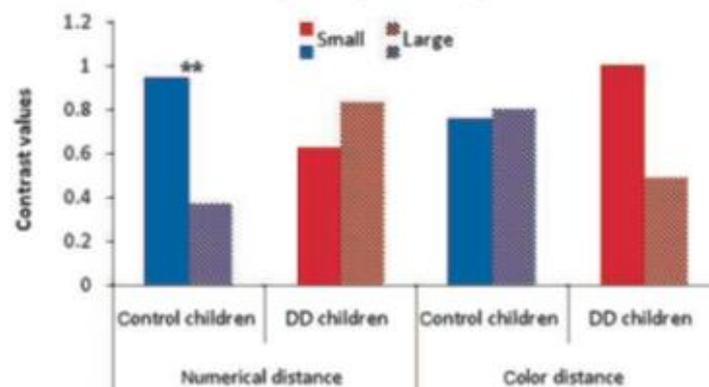
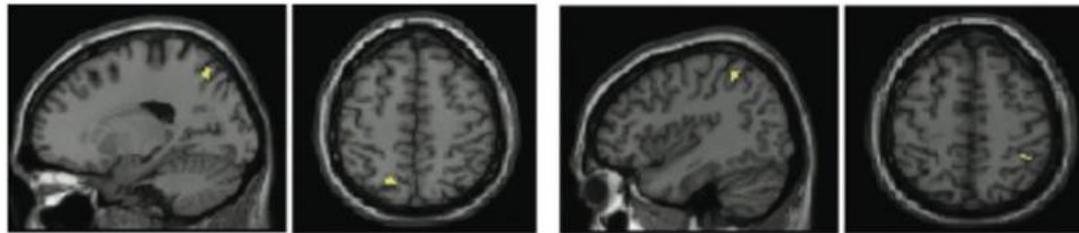
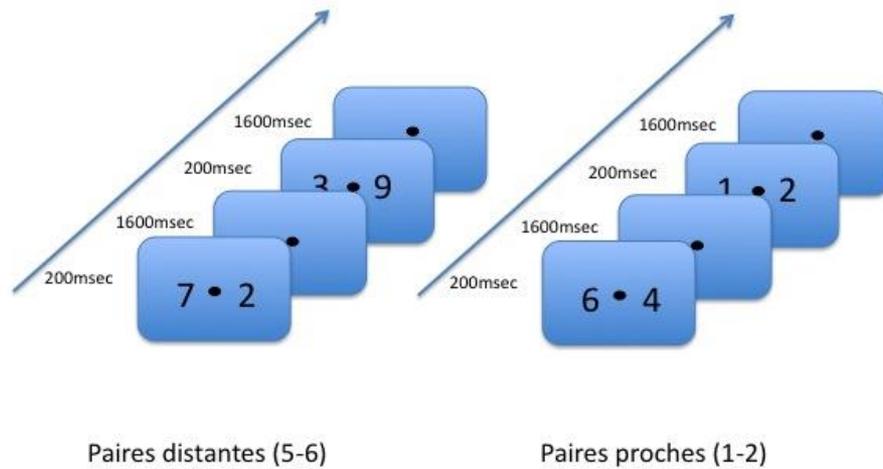
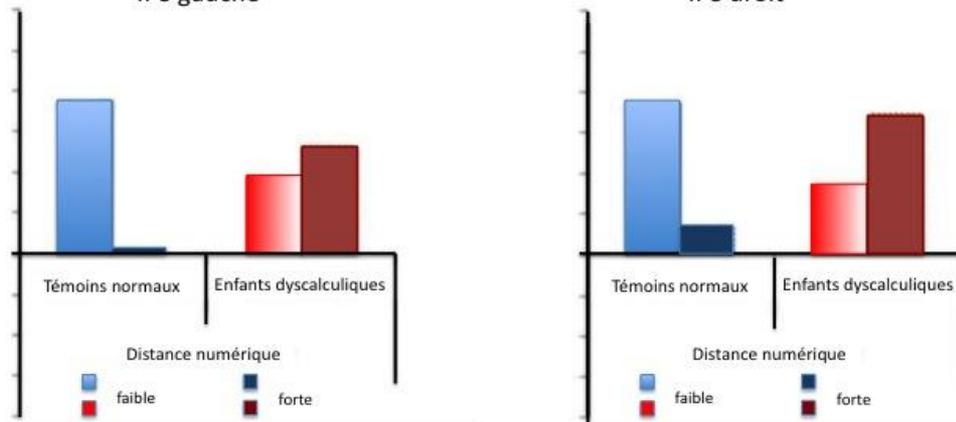


Figure 3. ROI analysis. Bar charts depict modulation of brain activation (mean contrast values) in left and right IPS during numerical and color distances, as computed in these regions for both control and DD children. Significant group differences are marked with one (* $p_{corrected} < .05$), two (** $p_{corrected} < .01$), or three asterisks (***) ($p_{corrected} < .001$), corrected for multiple comparisons.

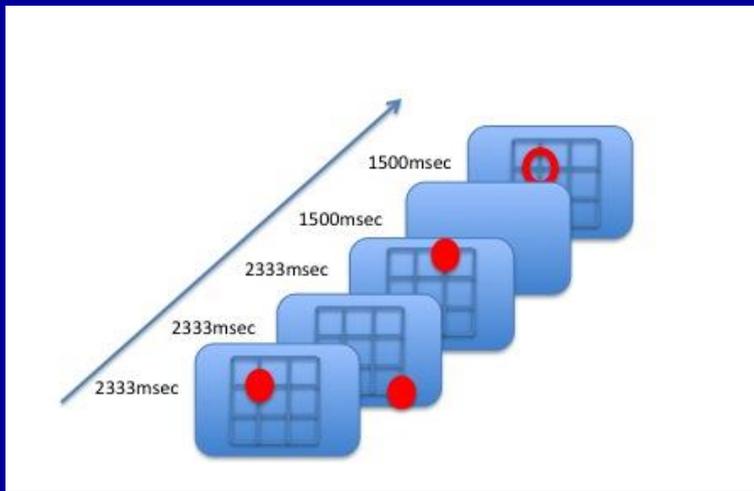


IPS gauche

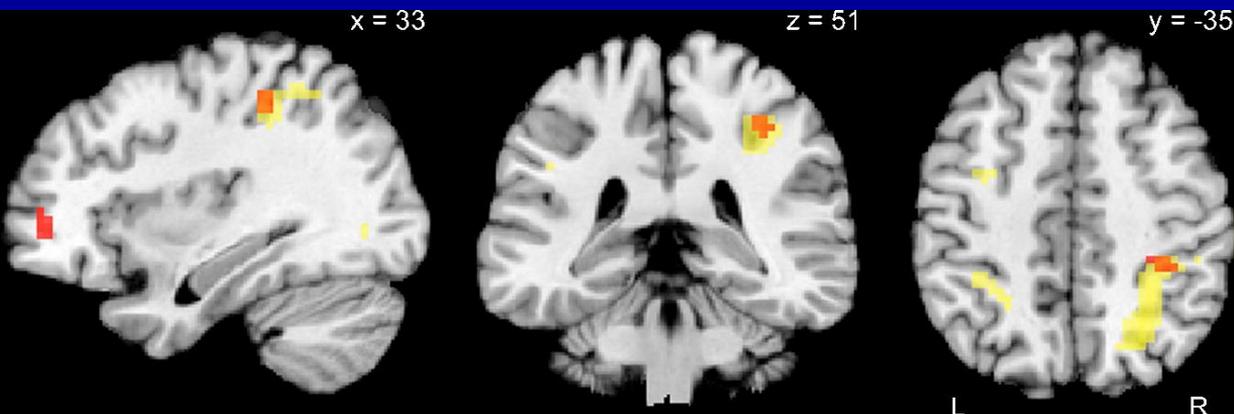
IPS droit



Activation du sillon intrapariétal (IPS) chez les témoins et les enfants dyscalculiques dans une tâche de comparaison de paires de chiffres distantes ou proches. L'effet de distance pour l'activation de l'IPS est présent chez les enfants non dyscalculiques et absent chez les dyscalculiques, comme cela apparaît sur les schémas du bas. La sensibilité de l'IPS à la distance, très caractéristique du fonctionnement normal (plus forte activation de l'IPS par les paires proches), est atténuée voire abolie chez le dyscalculique (d'après Mussolin *et al.*, 2010).



Activation induite par une tâche de mémoire de travail non verbale. En haut : description de la tâche (apparition sur trois écrans successifs de trois points, dont la localisation doit être mémorisée. Après un délai, une position est proposée et le sujet doit répondre par oui/non). En bas, résultat de l'épreuve d'activation en IRMf. En jaune, l'activation obtenue chez les témoins normaux, en orange, celle obtenue chez les dyscalculiques (d'après Rotzer *et al.*, 2009).



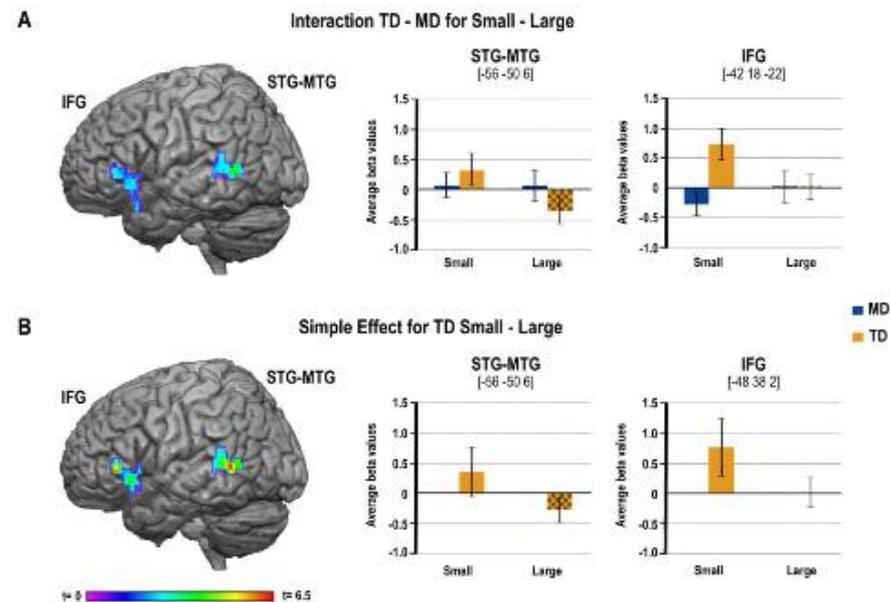
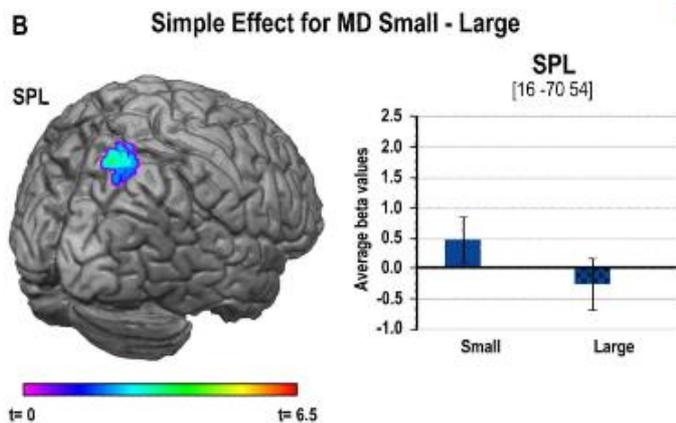
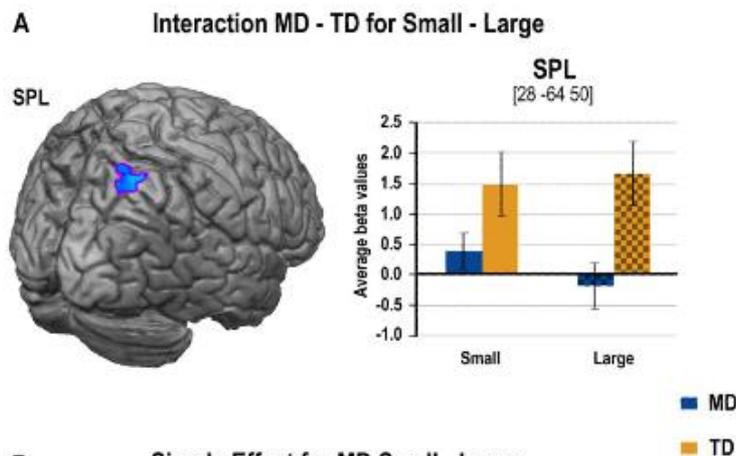
Children with mathematical learning disability fail in recruiting verbal and numerical brain regions when solving simple multiplication problems

Ilaria Berteletti^a, Jérôme Prado^{a,b}, and James R. Booth^a

^aDepartment of Communication Sciences and Disorders, Northwestern University, Evanston, IL

^bLaboratoire Langage, Cerveau et Cognition (L2C2), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Bron, France

Lors de multiplication, les dyscalculiques sous-activent à la fois le système IPS et le système verbal



Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia

Miriam Rosenberg-Lee¹, Sarit Ashkenazi^{1,2}, Tianwen Chen¹, Christina B. Young³, David C. Geary^{4,5}, and Vinod Menon^{1,6,7,8}

¹Department of Psychiatry & Behavioral Sciences, Stanford University School of Medicine, USA

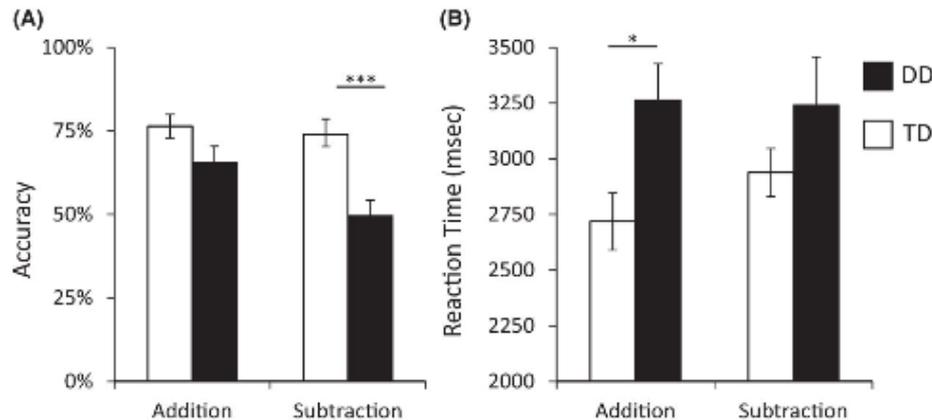
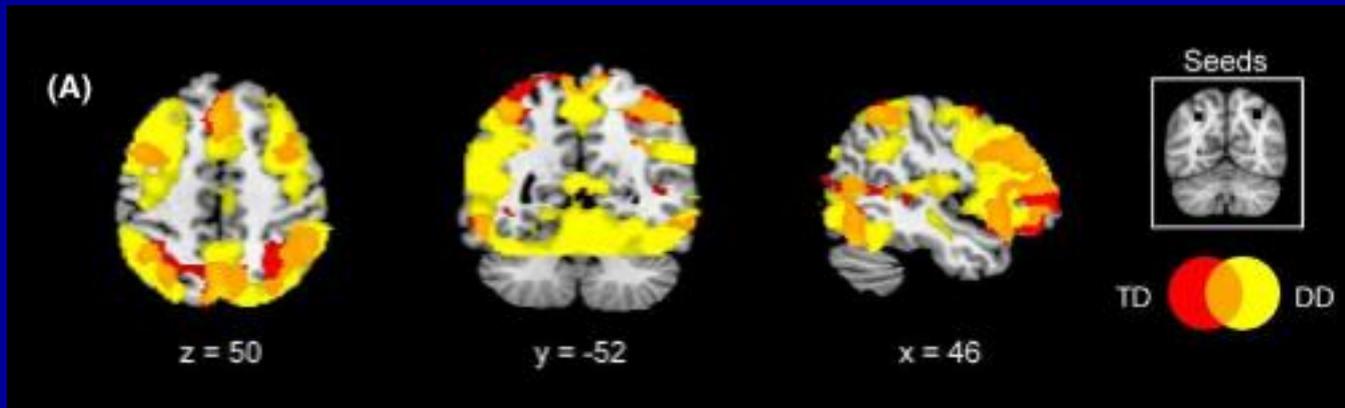


Figure 1. Behavioral performance in DD and TD children on addition and subtraction problems

Etude de la connectivité fonctionnelle entre plusieurs régions corticales impliquées dans les opérations arithmétiques. Montre une hyperconnectivité entre ces régions, dont l'interprétation fait appel à la notion de ressources cognitives générales plus sollicitées chez le dyscalculique en raison même de ses déficit dans les procédures opératoires. Plus précisément, les dyscalculiques auraient des difficultés à se désengager de processus non pertinents qui viendraient en quelque sorte parasiter leurs mécanismes de calcul lors des additions comme des soustractions.



DD : hyperconnectivité entre diverses parties de l'IPS et deux systèmes neurofonctionnels :

- DMN (default mode network)
- frontal exécutif

Les dyscalculiques auraient des difficultés à se désengager de processus non pertinents qui viendraient en quelque sorte parasiter leurs mécanismes de calcul lors des additions comme des soustractions

« activation of problem-irrelevant information that in turn disrupts problem solving ».



Longitudinal Brain Development of Numerical Skills in Typically Developing Children and Children with Developmental Dyscalculia

Ursina McCaskey^{1,2*}, Michael von Aster^{1,2,3,4}, Urs Maurer^{4,5,6}, Ernst Martin^{1,2}, Ruth O'Gorman Tuura^{1,2,7} and Karin Kucian^{1,2,4}

¹ Center for MR-Research, University Children's Hospital Zurich, Zurich, Switzerland, ² Children's Research Center, University Children's Hospital Zurich, Zurich, Switzerland, ³ Clinic for Child and Adolescent Psychiatry, German Red Cross Hospitals

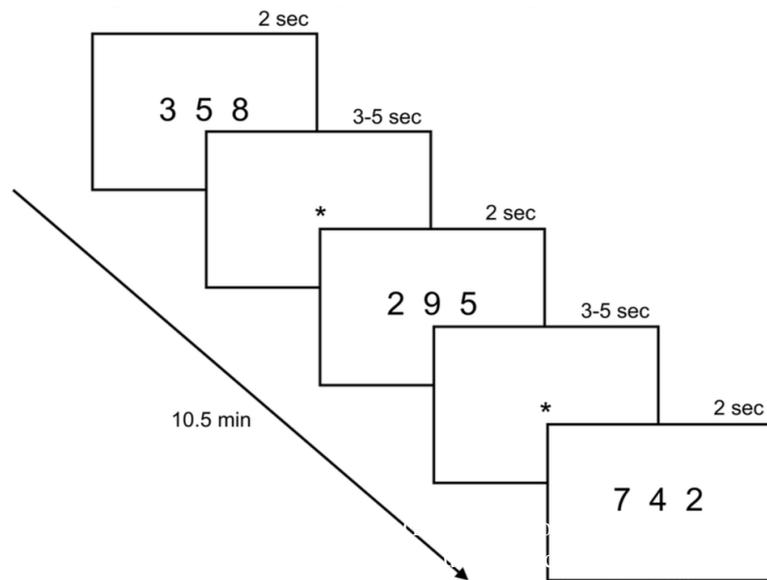


FIGURE 2 | fMRI task. The paradigm consisted of alternating blocks of the experimental and control condition. In the experimental condition, subjects had to decide if the three presented numbers were in ascending or descending order (numerical order task). For instance, subjects had to press “yes” in the first and last trial shown in the picture and “no” for the second one. In the control condition, subjects had to indicate if the number 2 was present. Every stimulus was presented for 2 s, followed by a screen with a fixation cross (*) shown for 3–5 s. Reprinted from Kucian et al. (2011a), copyright (2011) with permission from Elsevier.

Baseline

Numerical abilities
DD diagnosis (ZAREKI-R)
Arithmetic (WISC-III)

Behavioural testing

Number line task
1-100

Basic arithmetic operations
1-100 (addition and subtraction)

Intelligence quotient
WISC-III

Working memory
Visuo-spatial (BTT)

fMRI

fMRI task
Numerical order task

Follow-up

Numerical abilities
DD diagnosis (BASIS-MATH 4-8)
Quantity Comparison (KFT 4-12)

Number line task
1-100
1-1000

Basic arithmetic operations
1-1000 (addition and subtraction)

Intelligence quotient
WISC-IV

Working memory
Visuo-spatial (BTT)
Verbal (WISC-IV)

Attention
Alertness (TAP)
Go-Nogo (TAP)

Reading
Words and Pseudowords (SLRT-II)

fMRI task
Numerical order task

4.2 years

FIGURE 1 | Study design. Overview of the behavioral tests and fMRI task performed at baseline and after 4.2 years at follow-up. ZAREKI-R, Neuropsychological Test Battery for Number Processing and Calculation in Children; BASIS-MATH 4–8, Basic Diagnostic in Mathematics for Grades 4–8; KFT 4–12, Cognitive Abilities Test; WISC, Wechsler Intelligence Scale for Children; BTT, Block-Tapping-Test; TAP, Testbattery for Attentional Performance; SLRT-II, Salzburg Reading and Orthography Test.

Comparaison d'enfants dyscalculiques (DD) et témoins (TD) (en tout 28 enfants de 8-11 ans) évalués deux fois sur une période de 4 ans sur un protocole d'IRM fonctionnelle de présentation de triplets de chiffres sur lesquels les sujets devaient décider s'ils sont présentés en ordre descendant ou ascendant.

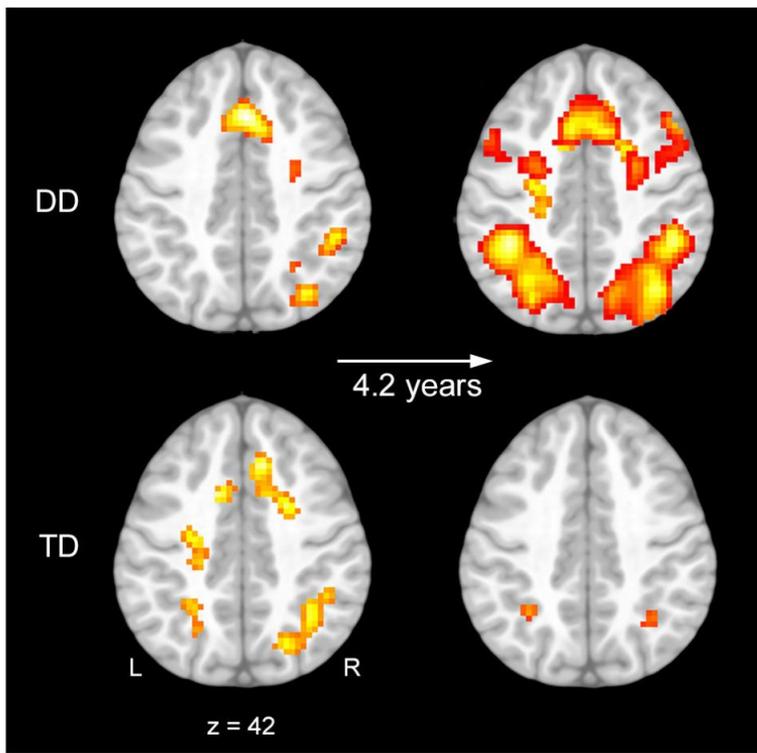


FIGURE 3 | Activation at baseline and follow-up. Task related brain activation shown on a pediatric template (Fonov et al., 2009, 2011) for the contrast numerical order vs. control task at baseline (**Left**) and follow-up (**Right**) for children with developmental dyscalculia (DD) (**Upper**) and typically developing (TD) children (**Lower**) ($p < 0.01$, $k \geq 24$, cluster-extent corrected).

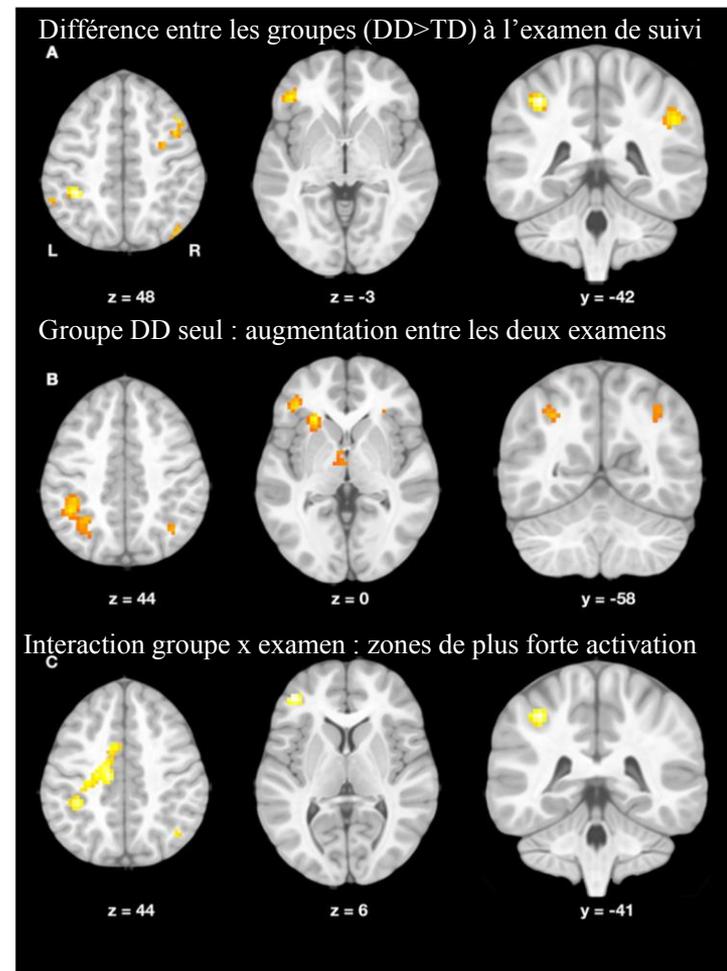
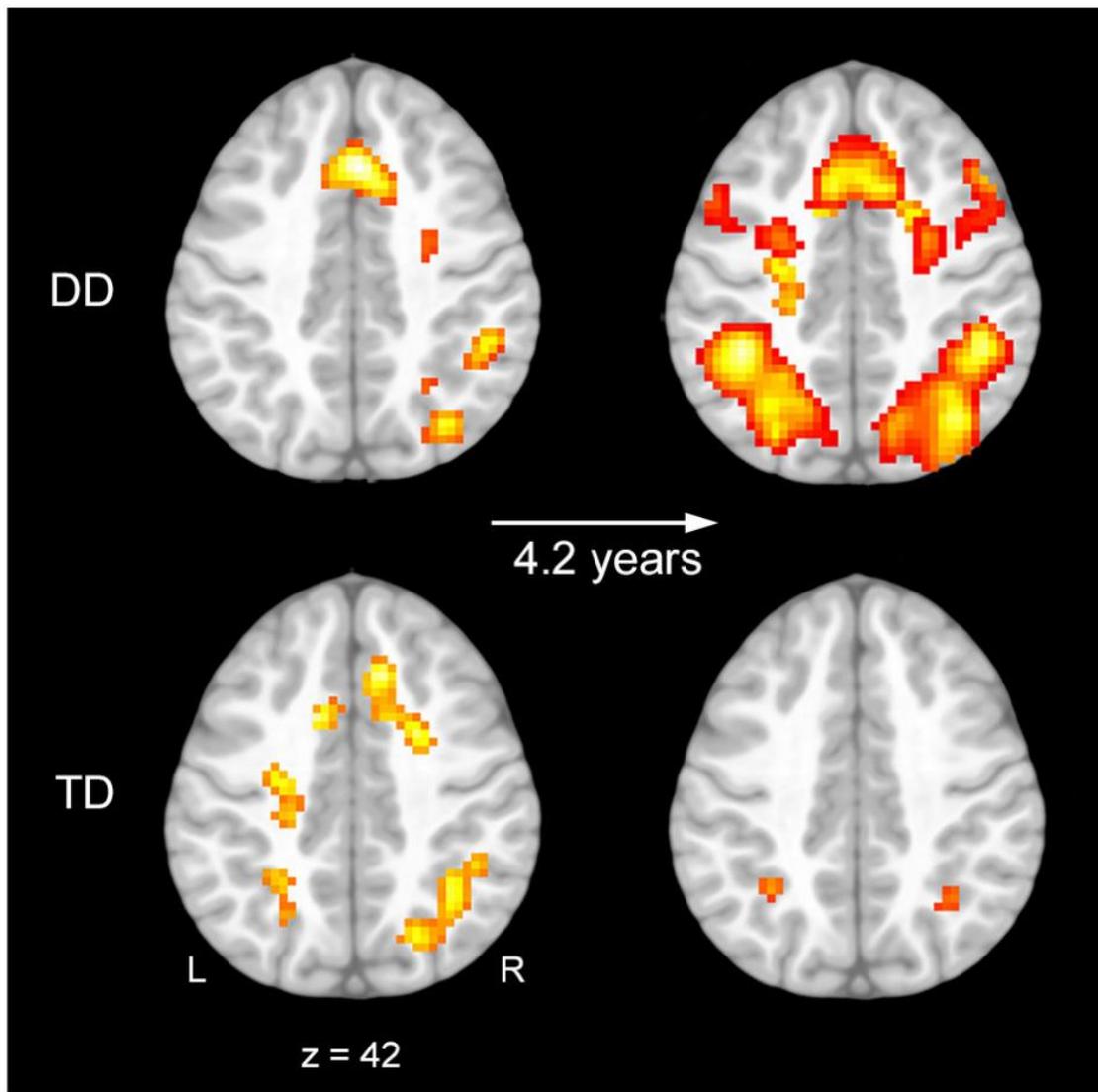


FIGURE 4 | (A) Group differences at follow-up. Increased activation in the dyscalculic compared to the typically developing group at the follow-up assessment (*post-hoc t*-test for the contrast DD vs. TD, $p < 0.001$, $k \geq 19$, cluster-extent corrected). (B) Developmental increase in DD. Increase in brain activation in the dyscalculic group over developmental time (*post-hoc t*-test for the contrast follow-up vs. baseline, $p < 0.005$, $k \geq 22$, cluster-extent corrected). (C) Negative interaction. Activation increase over time was more pronounced in children with dyscalculia compared to typically developing children (group by time interaction, $p < 0.005$, $k \geq 22$, cluster-extent corrected).

Brain imaging results of the DD group showed an age-related activation increase in parietal regions (intraparietal sulcus), pointing to a delayed development of number processing areas. Besides, an activation increase in frontal areas was observed over time, indicating the use of compensatory mechanisms. In conclusion, results suggest a continuation in neural development of number representation in DD, whereas the neural network for simple ordinal number estimation seems to be stable or show only subtle changes in TD children over time.



Alors que les témoins présentent clairement une diminution globale des activations entre les deux examens, les zones d'activité se réduisant sur le second à une petite portion du sillon intra-pariétal (SIP), les dyscalculiques augmentent au contraire leurs zones d'activation à deux vastes zones pariétales englobant le SIP et au-delà, et également des zones préfrontales et frontales internes

Troisième conclusion

- Il existe un nombre croissant d'arguments suggérant que la dysfonction caractéristique de la dyscalculie se situe au niveau de l'IPS
- La latéralisation de cette dysfonction pariétale est variable, le plus souvent à droite
- La modulation de l'activation de l'IPS par la distance numérique est un argument en faveur d'un trouble spécifique de la représentation des magnitudes
- La dysfonction de l'IPS ne serait pas spécifique aux nombres et serait amodale
- Lors de tâches impliquant des opérations arithmétiques, on note une hyperconnectivité entre régions pariétales du nombre et les régions frontales exécutives, témoignant probablement d'une sollicitation compensatoire chez les dyscalculiques de zones non activées chez les témoins

Epilogue1 : théories des dyscalculies



Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography

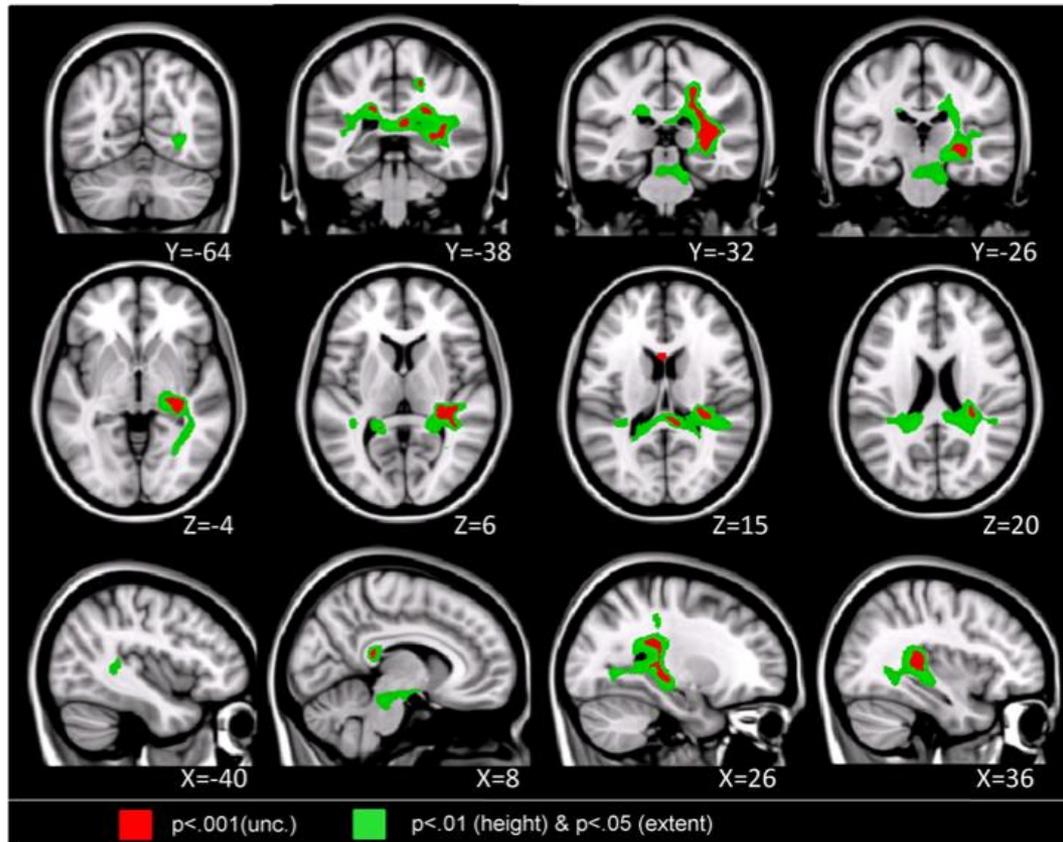
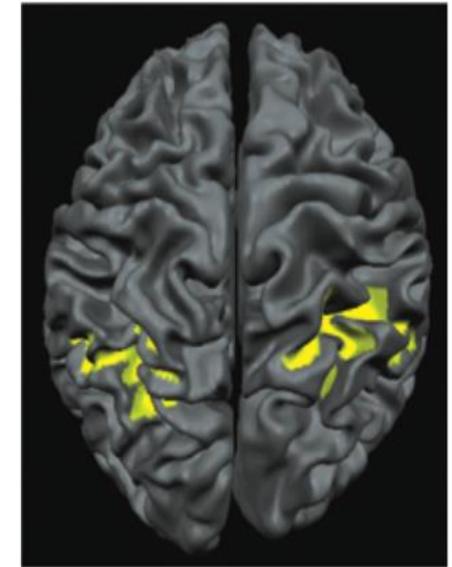
Elena Rykhlevskaia^{1,2}, Lucina Q. Uddin¹, Leeza Kondos¹ and Vinod Menon^{1,3,4}*

¹ Department of Psychiatry and Behavioral Sciences, Stanford University, CA, USA

² Department of Psychology, Stanford University, CA, USA

³ Program in Neuroscience, Stanford University, CA, USA

⁴ Symbolic Systems Program, Stanford University, CA, USA



DTI tractography suggests that long-range WM projection fibers linking the right fusiform gyrus with temporal-parietal WM are a specific source of vulnerability in DD

FIGURE 2 | Brain regions where children with DD showed significant white matter deficits, compared to TD children (two-sample *t*-test results for TD > DD contrast). Red: $p < 0.001$; Green: height threshold $p < 0.01$, extent threshold $p < 0.05$ with family-wise error correction for multiple comparisons and correction for non-isotropic smoothness.

Developmental dyscalculia: a dysconnection syndrome?

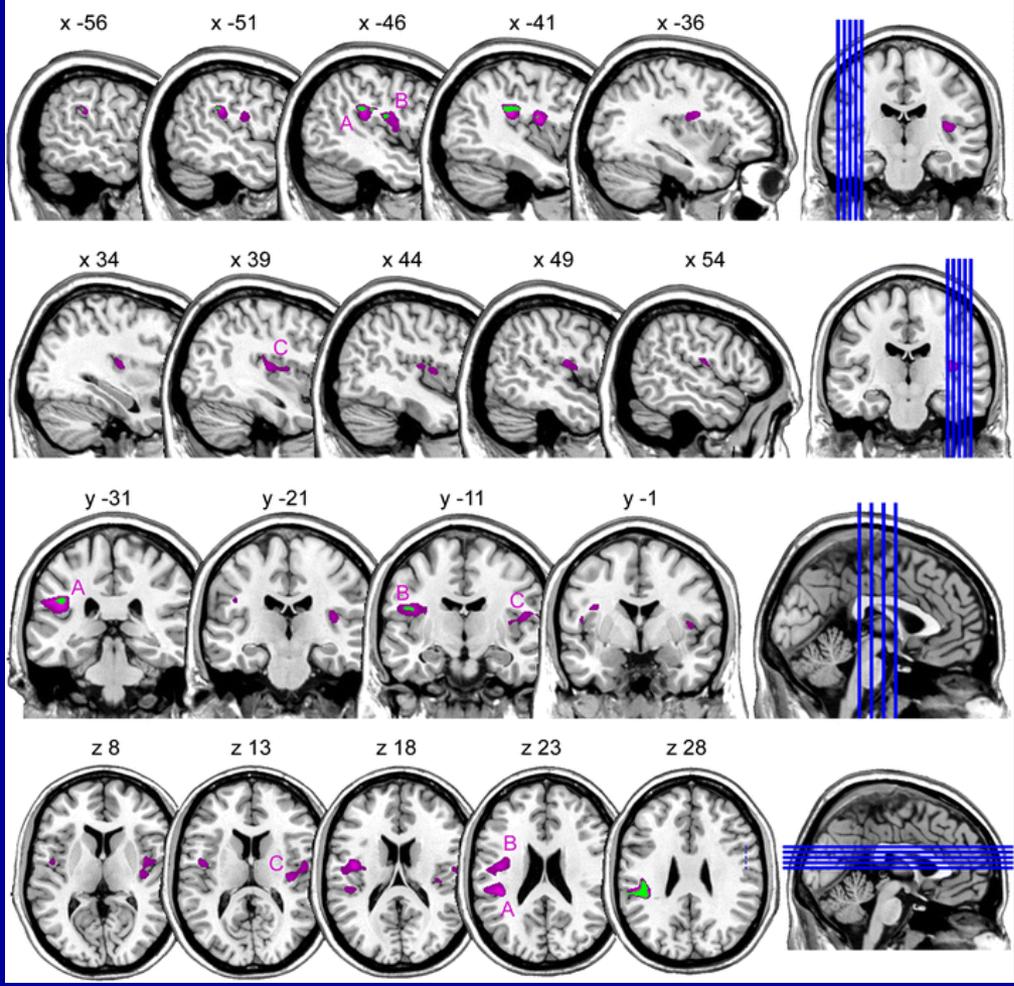
Authors Authors and affiliations

Karin Kucian, Simone Schwizer Ashkenazi, Jürgen Hänggi, Stephanie Rotzer, Lutz Jäncke, Ernst Martin, Michael von Aster

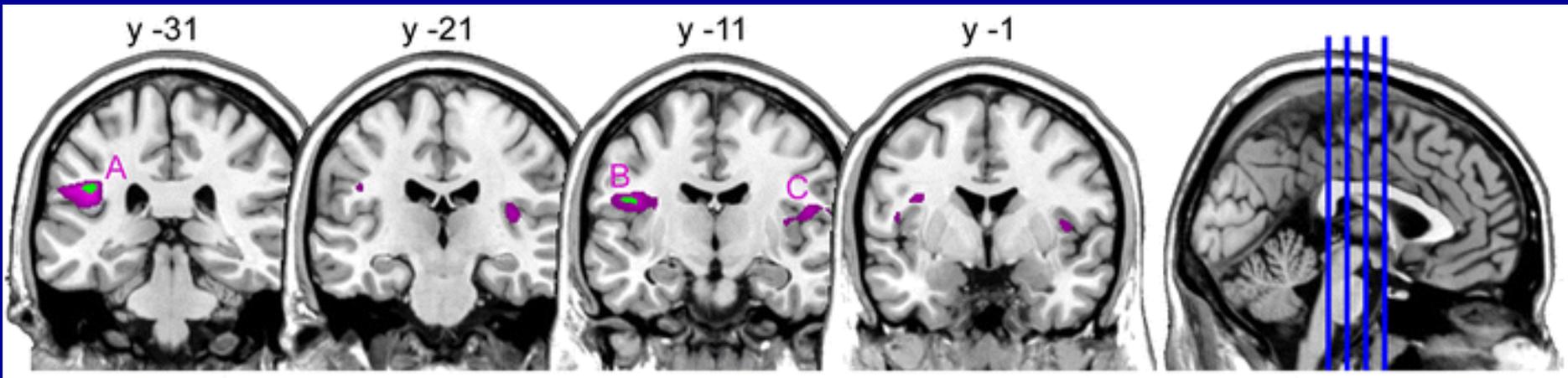
Fibre tract	Cluster size (voxels)	T value	MNI coordinates		
			x	y	z
(A) Left SLF near parietal lobe	2,523	7.02	-41	-34	27
(B) Left SLF near central operculum and secondary somatosensory cortex	2,433	6.37	-42	-7	17
(C) Right SLF near insula	1,991	4.10	38	-19	12

SLF superior longitudinal fasciculus

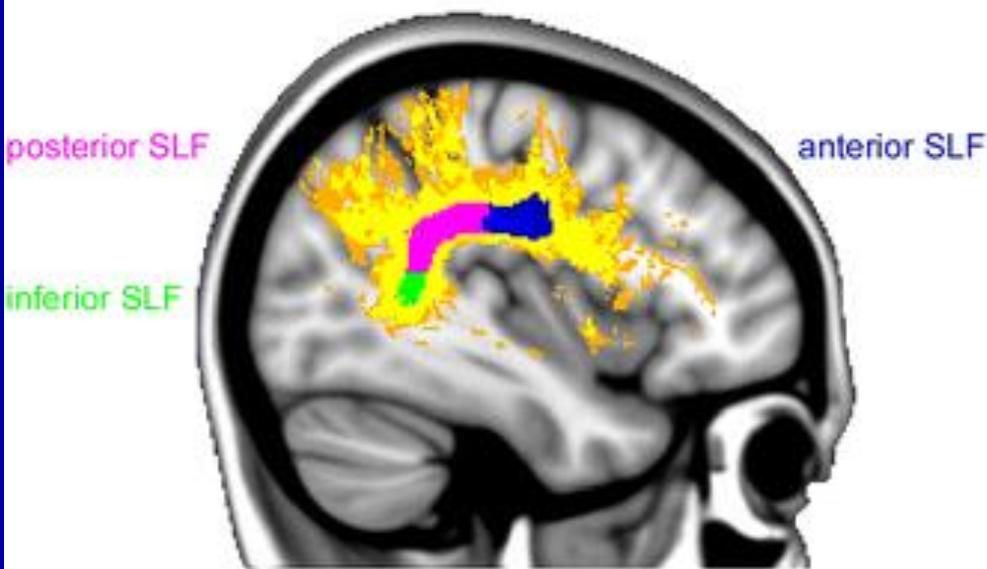
Reduced FA in dyscalculic children



reduced fractional anisotropy (FA) compared to control children at $p < 0.001$ corrected for multiple comparisons: **a** left superior longitudinal fasciculus, close to parietal lobe; **b** left superior longitudinal fasciculus, close to central operculum and secondary somatosensory cortex; **c** right superior longitudinal fasciculus, close to insula. Within this pattern of reduced FA, dyscalculic children showed increased radial diffusivity (RD) at $p < 0.001$ uncorrected marked in *green*



ROIs of the superior longitudinal fasciculus



3 zones de ↘ d'anisotropie (rose) : A/ FLS gauche à proximité du cortex pariétal; B/ FLS gauche à proximité de l'opercule central; C/ FLS droit proche insula.
 + zone de ↗ diffusivité radiale (vert)

Prospective relations between resting-state connectivity of parietal subdivisions and arithmetic competence

Gavin R. Price^a, Darren J. Yeo^{a,c}, Eric D. Wilkey^a, Laurie E. Cutting^{b,*}

^a Department of Psychology & Human Development, Peabody College, Vanderbilt University, 230 Appleton Place, Nashville, TN, 37203, USA

^b Department of Special Education, Peabody College, Vanderbilt University, 230 Appleton Place, Nashville, TN, 37203, USA

^c Division of Psychology, School of Humanities and Social Sciences, Nanyang Technological University, 14 Nanyang Avenue, 637332, Singapore, Singapore

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 August 2016

Received in revised form 2 February 2017

Accepted 17 February 2017

ABSTRACT

The present study investigates the relation between resting-state functional connectivity of cytoarchitecturally defined subdivisions of the parietal cortex at the end of 1st grade performance at the end of 2nd grade.

Results revealed a dissociable pattern of relations between rsFC and arithmetic competence.

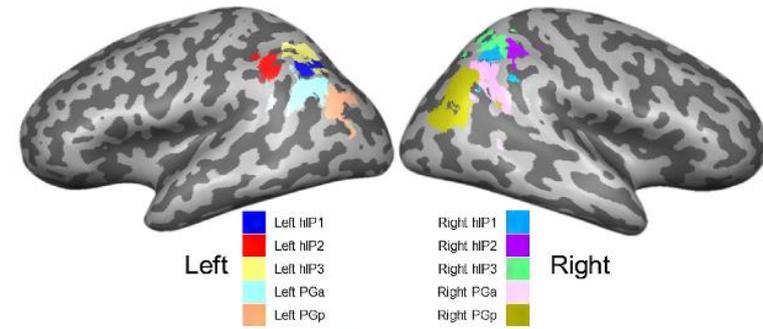
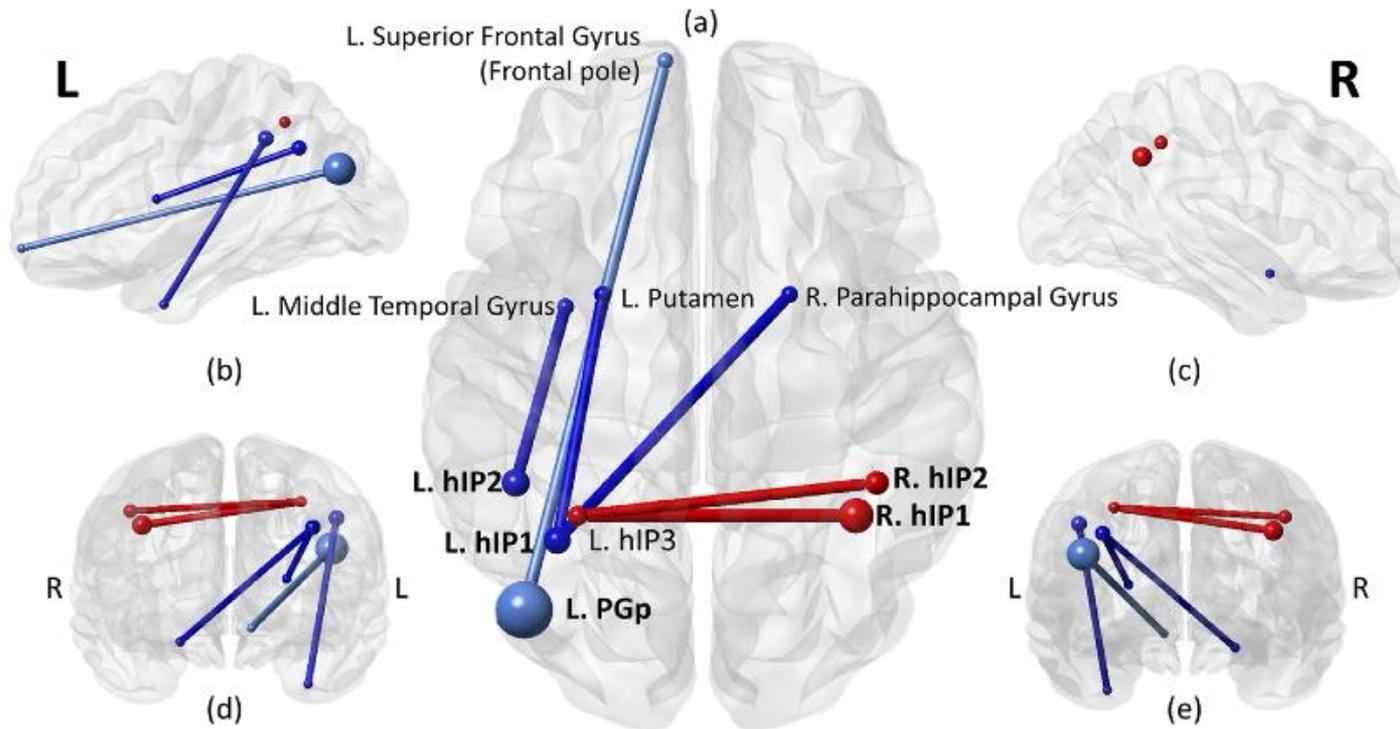
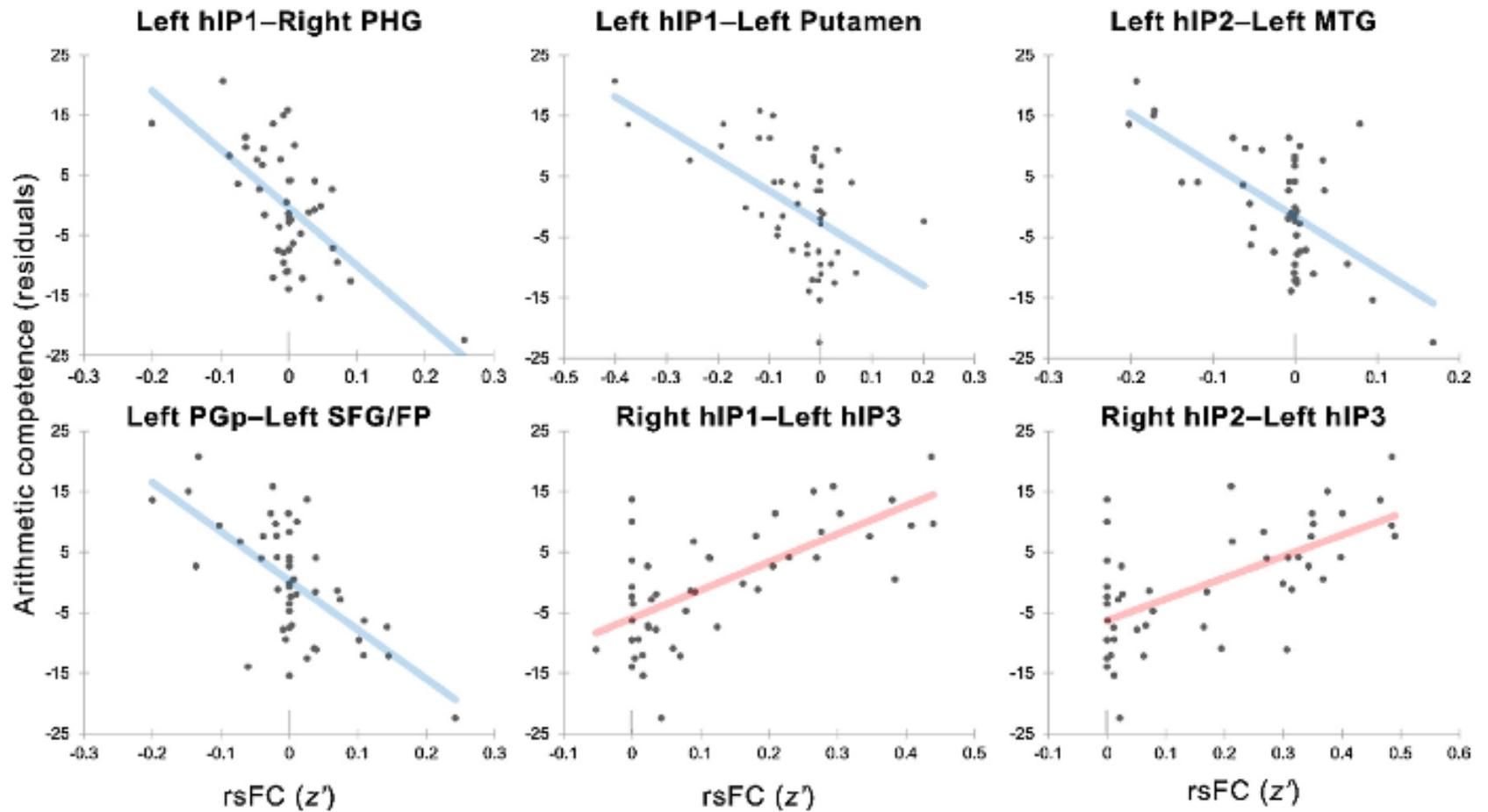


Fig. 1. rsFC seed regions shown on the inflated surfaces of a Talairach-transformed Colin27 brain.

G.R. Price et al. / Developmental Cognitive Neuroscience xxx (2017) xxx–xxx



Corrélation
connectivité
compétence :
bleu : négative,
rouge: positive



White Matter Microstructure Correlates of **Mathematical Giftedness** and Intelligence Quotient

Francisco J. Navas-Sánchez,^{1,2*} Yasser Alemán-Gómez,^{1,2}
 Javier Sánchez-Gonzalez,³ Juan A. Guzmán-De-Villoria,⁴ Carolina Franco,⁵
 Olalla Robles,^{5,6} Celso Arango,^{2,5} and Manuel Desco^{1,2,7}

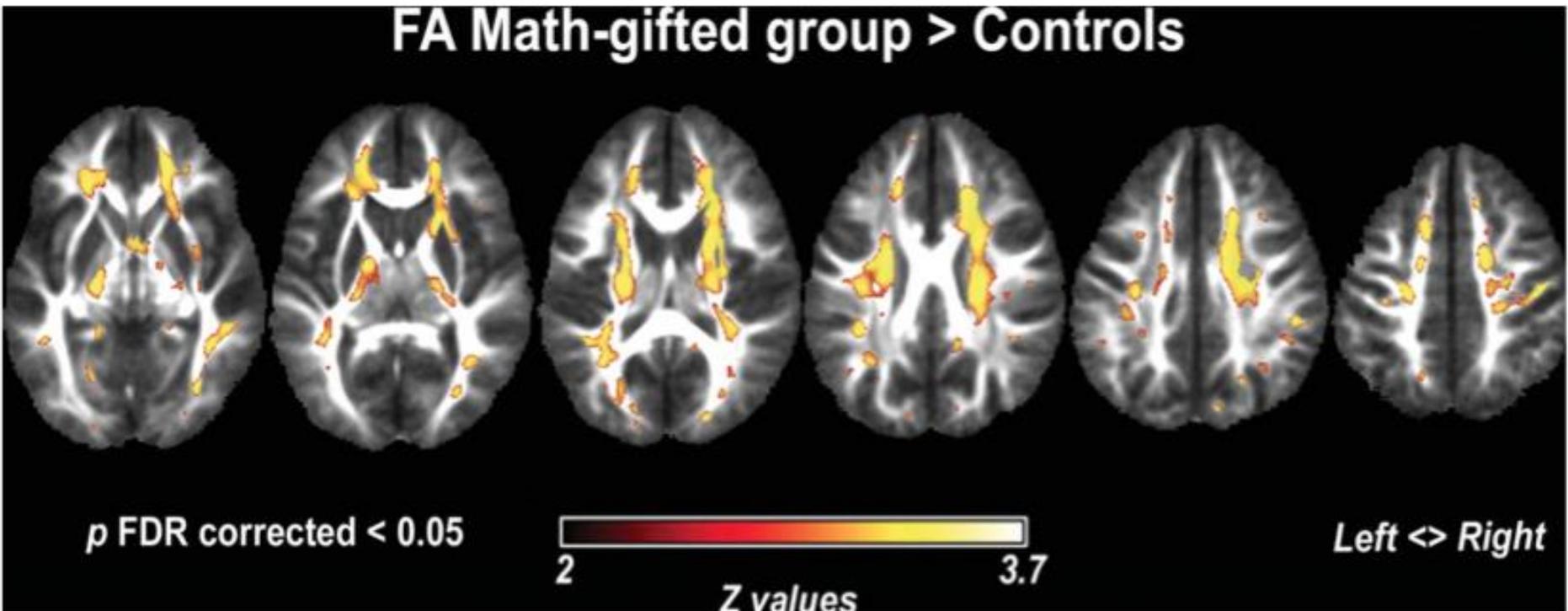
¹Unidad de Medicina y Cirugía Experimental, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón, Madrid, Spain

TABLE I. Mean and standard deviation (SD) of demographic data for each group

	Controls (n = 23)		Math-gifted (n = 13)		Pa
	Mean	SD	Mean	SD	
Age (years)	13.42	0.86	13.75	0.57	
Age (months)	160.91	10.31	165.01	7	
Gender (male\female)	19\4		8\5		
Handedness (right\left\mixed)	23\0\0		13\0\0		
Estimated full-scale IQ	105.48	15.71	130.77	10.68	<0.001
Verbal IQ	106.83	16.67	125.08	12.07	<0.001
Performance IQ	99.83	23.1	128.85	12.14	<0.001

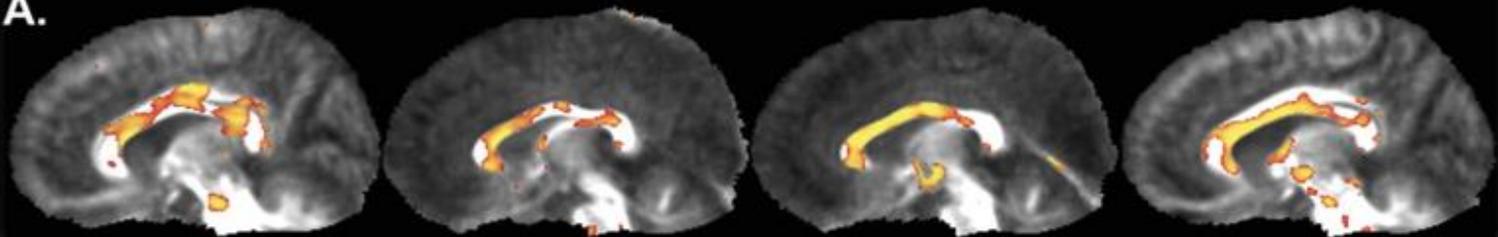
^a Student's *t* test of differences between groups.

FA Math-gifted group > Controls

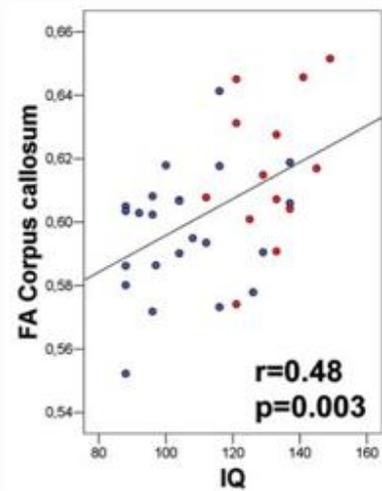
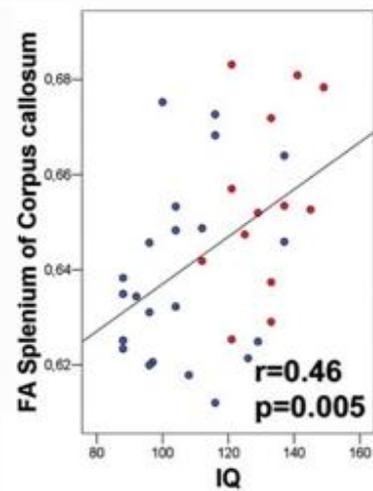
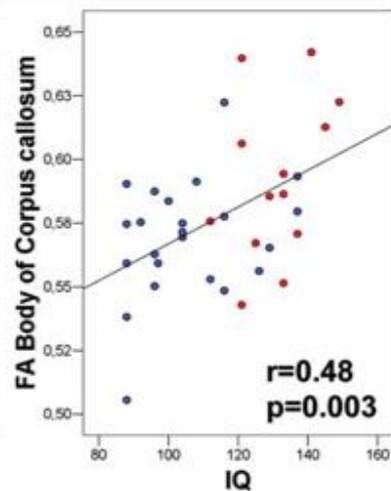
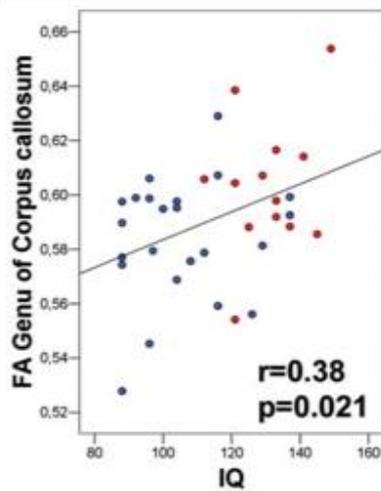
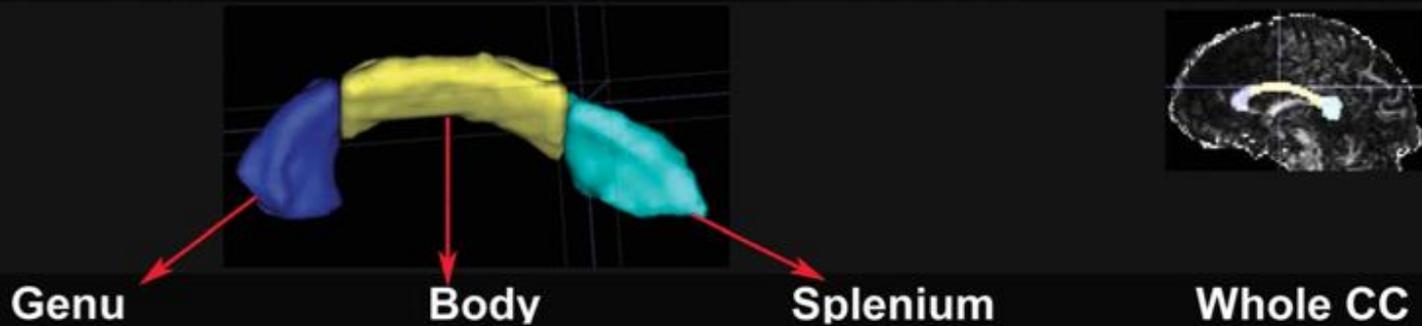


CORRELATION FA & IQ

A.



B.

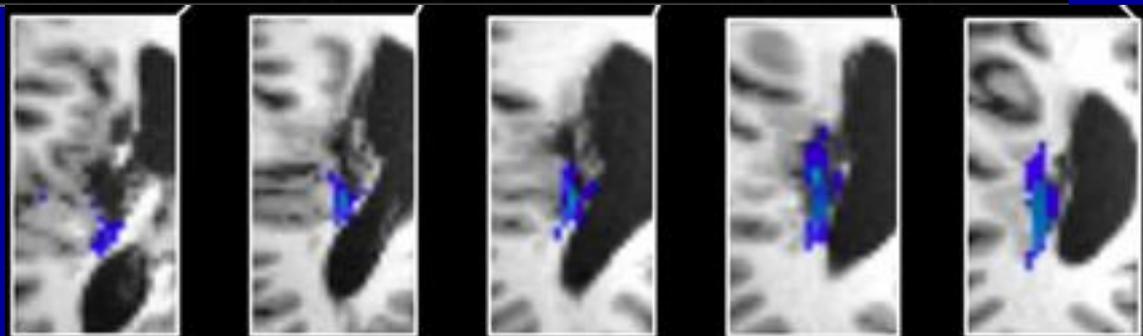
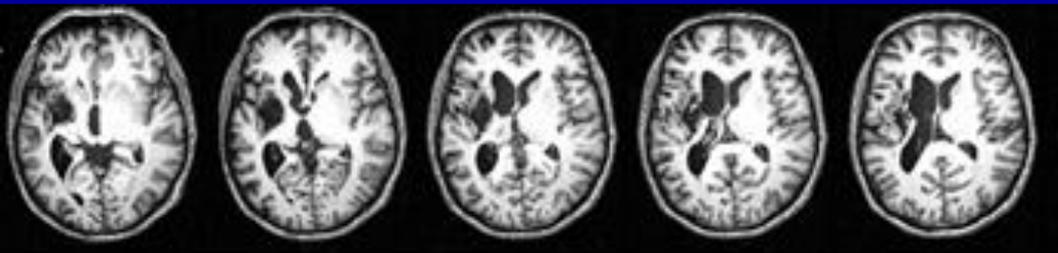


Etiopathogénie du déficit de l'IPS

‘core deficit theory’
(Wilson & Dehaene, 2007)

‘defective module hypothesis’
(Butterworth, 2005)

‘access deficit hypothesis’ (Rousselle & Noel, 2007)



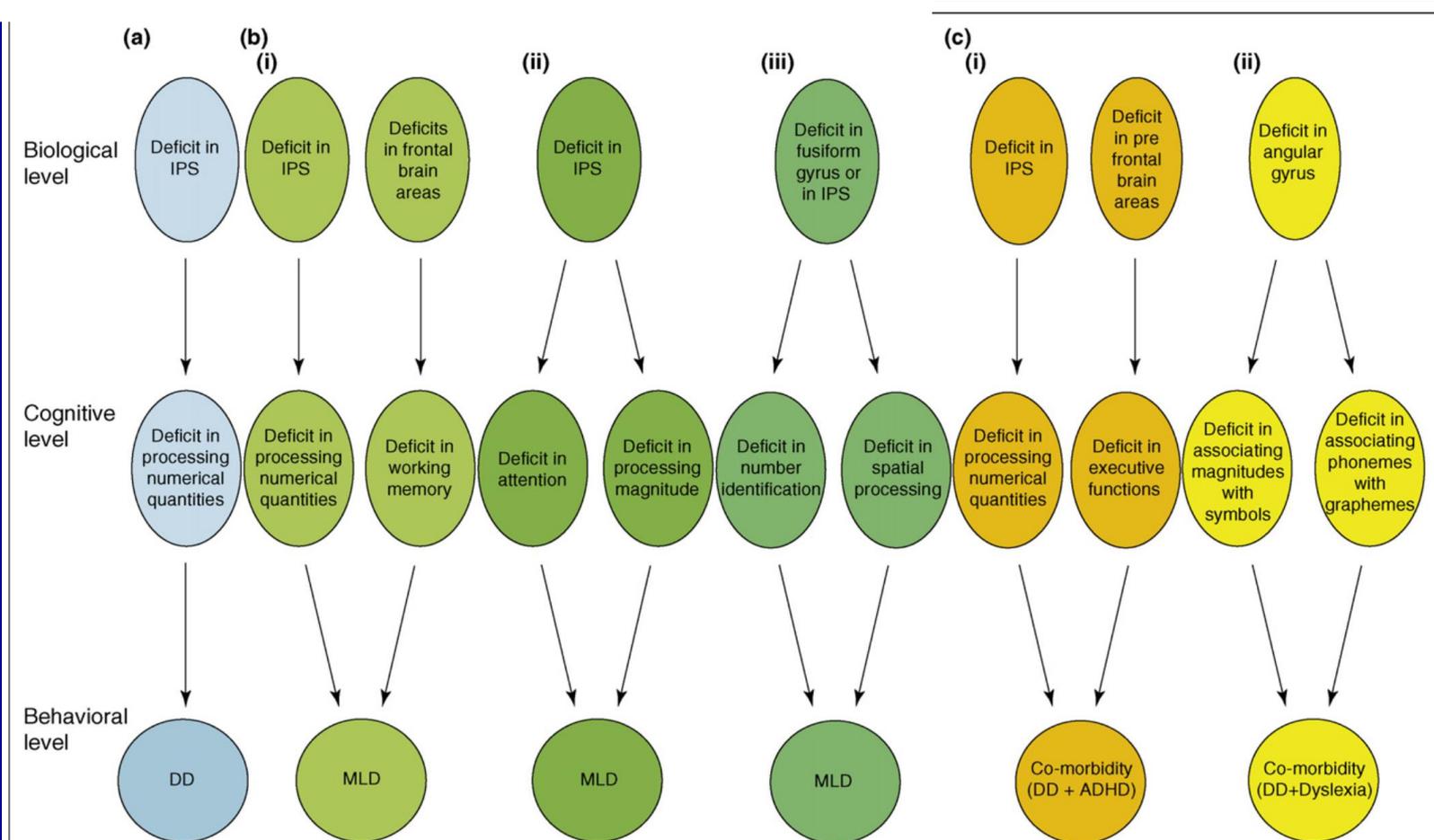
‘Disconnection hypothesis’
(Kucian et al., 2014, voir aussi Klein et al., 2013 : cas d’acalculie par AVC) :
atteinte de la partie dorsale du faisceau longitudinal supérieur

Developmental Dyscalculia: heterogeneity might not mean different mechanisms

Orly Rubinsten¹ and Avishai Henik²

¹Edmond J. Safra Brain Research Center for the Study of Learning Disabilities, Department of Learning Disabilities, University of Haifa, Israel

²Department of Psychology and Zlotowski Center for Neuroscience, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel



5 hypothèses:

- déficit du SNA
- déficit de codage de numérosité
- déficit de traitement de la magnitude
- Déficit de l'accès
- Déficit de mémoire de travail
- Déficit de fonctionnement exécutif



Heterogeneity of Developmental Dyscalculia: Cases with Different Deficit Profiles

Ulf Träff, Linda Olsson, Rickard Östergren and Kenny Skagerlund*

Behavioural Sciences and Learning, Linköping University, Linköping, Sweden

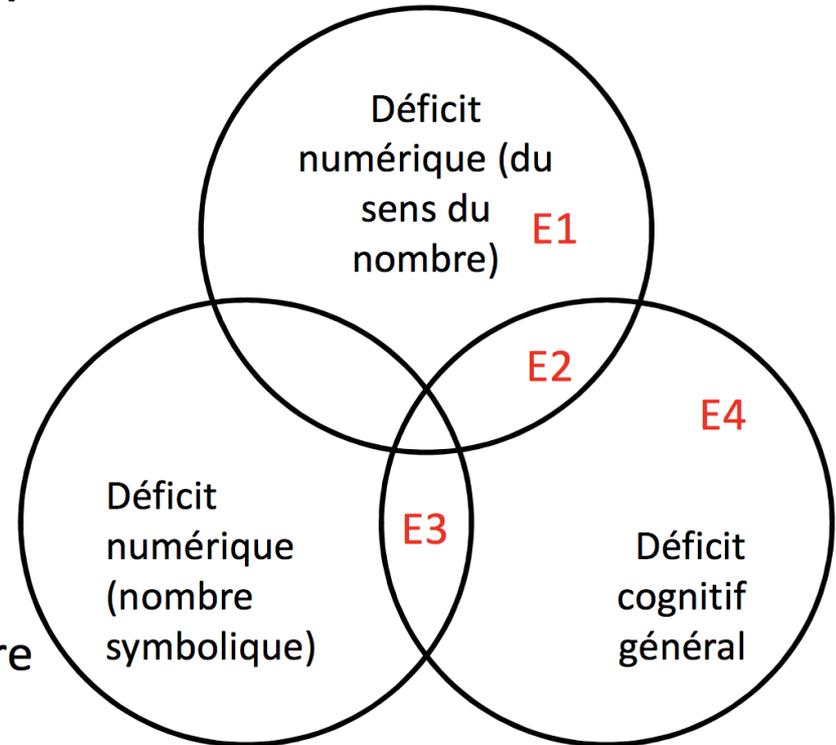
TABLE 1 | An overview of the different hypotheses of developmental dyscalculia.

Hypothesis	Cognitive signature	Site of neurocognitive dysfunction	Example of research
ANS deficit	Deficit in approximating and representing quantities	IPS morphology and hypoactivation	Piazza et al., 2010; Mazocco et al., 2011a
Numerosity coding deficit	Impaired exact counting of quantities	IPS morphology and hypoactivation	Zorzi et al., 2005; Butterworth, 2010
Magnitude processing deficit	Deficit in processing analog magnitudes	IPS morphology and hypoactivation	Vicario et al., 2012; Skagerlund and Träff, 2014
Access deficit	A disconnect between the symbols and quantity representations	IPS and AG/IFG disconnection	Rousselle and Noël, 2007; De Smedt and Gilmore, 2011
Working-memory deficit	Impaired working-memory capacity	Prefrontal cortex	Geary, 1993; Andersson and Lyxell, 2007
Executive functioning deficit	Impaired shifting ability	Prefrontal cortex	van der Sluis et al., 2004; Szucs et al., 2013

Träff, Olsson, Östergren and Skagerlund (2017)

Constitution de 4 profils

- E1. Dyscalculie primaire : déficit général du traitement des magnitudes (quantités numériques, temps, espace)
- E2. Dyscalculie primaire : déficit général du traitement des magnitudes (quantités numériques, temps, espace) et un déficit cognitif général (MDT visuospatiale, FE)
- E3. Dyscalculie primaire : déficit du Subitizing, déficit d'accès au sens du nombre via les codes symboliques et un déficit cognitif général (MDT visuospatiale, FE)
- E4. Dyscalculie secondaire à un déficit cognitif général (MDT verbale, FE)



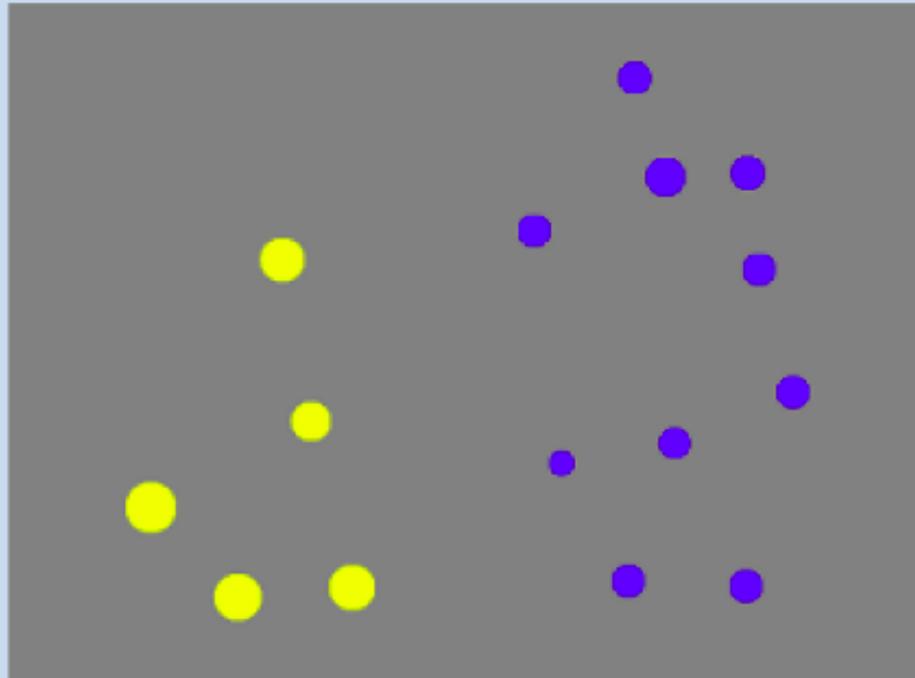


Research report

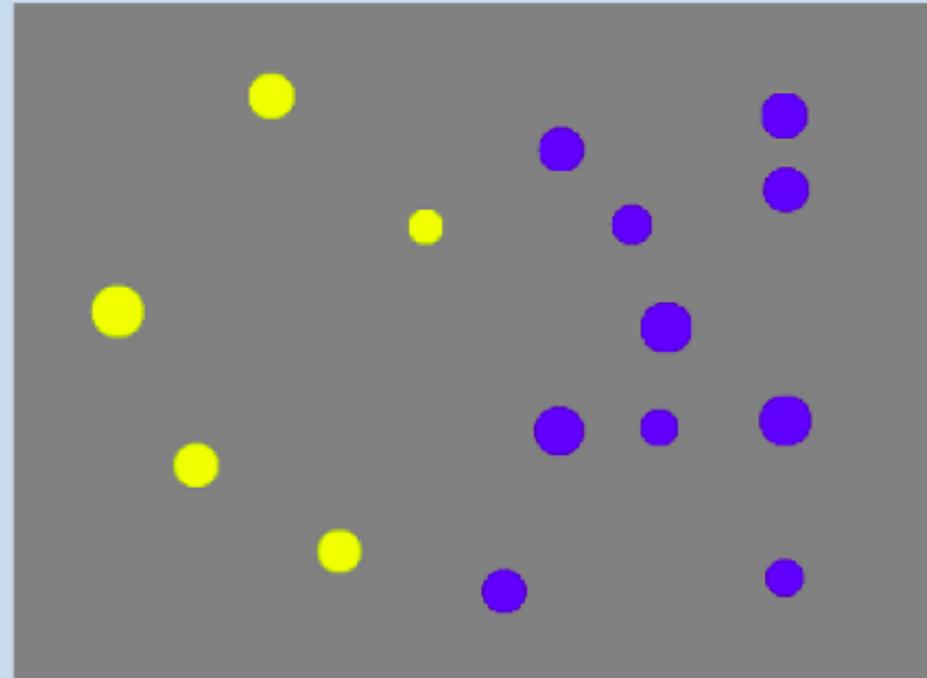
Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairmentDenes Szucs^{a,*}, Amy Devine^a, Fruzsina Soltesz^b, Alison Nobes^a and Florence Gabriel^a^a Department of Psychology, Centre for Neuroscience in Education, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom^b Department of Psychiatry, University of Cambridge, United Kingdom

On oppose cinq théories alternatives (représentation de la magnitude, mémoire de travail, inhibition, attention et traitement spatial) de la dyscalculie développementale chez les enfants de 9 à 10 ans du primaire. Les participants ont été sélectionnés parmi un groupe de 1004 enfants et ont participé à 16 tests et neuf expériences. Les caractéristiques dominantes de la dyscalculie développementale sont la mémoire de travail visuo-spatiale, la mémoire visuo-spatiale à court terme et la fonction inhibitrice (suppression des interférences). Nous émettons l'hypothèse que la déficience de l'inhibition est liée à la perturbation de la fonction de la mémoire exécutive centrale. Les problèmes potentiels de traitement visuo-spatial et de fonction attentionnelle dans la dyscalculie développementale dépendent probablement de la mémoire à court terme / mémoire de travail et des troubles de l'inhibition. La théorie de la représentation de la magnitude de la dyscalculie développementale n'a pas été supportée.

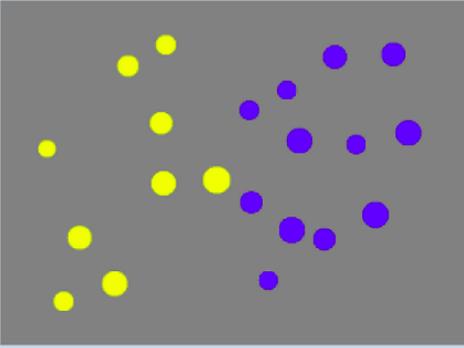
Different Size Dots
5 yellow vs 10 blue



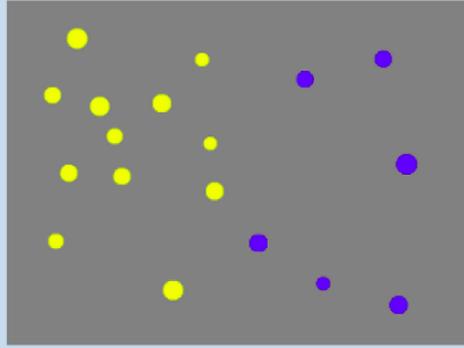
Same Size Dots
5 yellow vs 10 blue



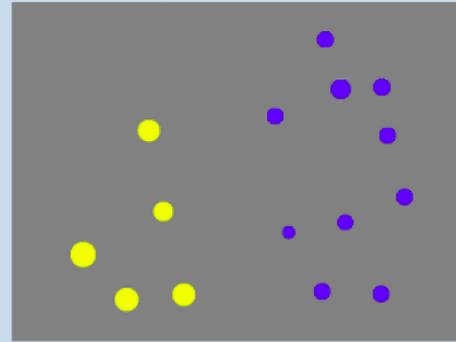
Harder Trial
9 yellow vs 12 blue



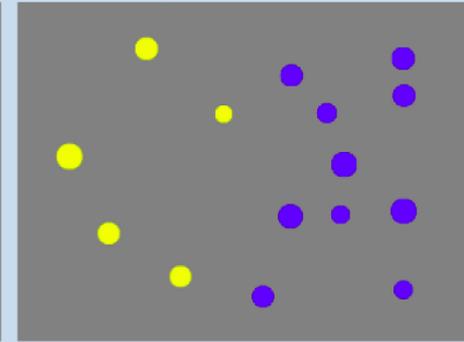
Easier Trial
12 yellow vs 6 blue



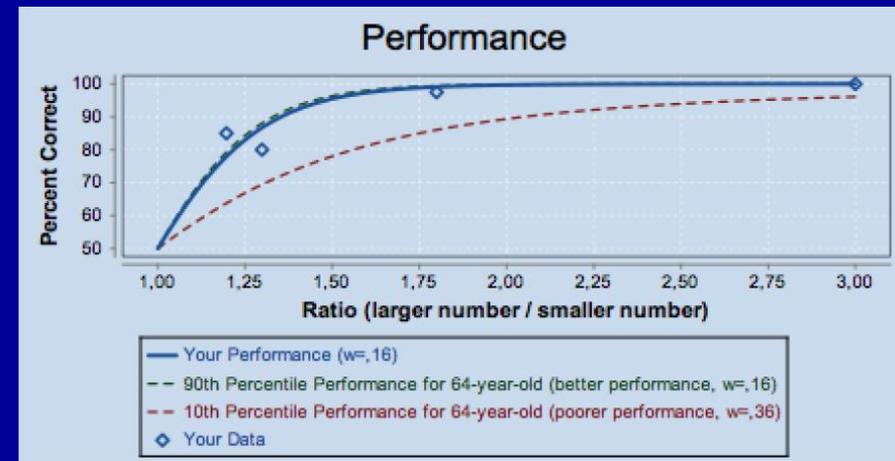
Different Size Dots
5 yellow vs 10 blue



Same Size Dots
5 yellow vs 10 blue



W= « fraction de Weber »
= plus petite différence à partir de laquelle un individu est capable de décider laquelle de deux numérosités est la plus grande



PAPER

Probing the nature of deficits in the ‘Approximate Number System’ in children with persistent Developmental Dyscalculia

Stephanie Bugden and Daniel Ansari

Numerical Cognition Laboratory, Department of Psychology, The Brain and Mind Institute, The University of Western Ontario, Canada

Fifteen children with Developmental Dyscalculia (Mean age = 12.36, SD = 1.20; range: 9.44 –13.68 years) were included in the present study (11 boys, 4 girls). To meet our criteria for DD, children had to demonstrate stable low math impairments on Math Fluency and Math Calculation subtests

Children with DD demonstrated imprecise ANS acuity indexed by larger Weber fraction (w) compared to TD controls. **differences in w were only found between DD and TD children on the incongruent trials.** In addition, visuo-spatial working memory strongly predicts individual differences in ANS acuity (w) during the incongruent trials. Thus the purported ANS deficit in DD can be explained by a difficulty in extracting number from an array of dots when area is anti-correlated with number. These data highlight the role of visuo-spatial working memory during the extraction process, and demonstrate that close attention needs to be paid to perceptual processes invoked by tasks thought to represent measures of the ANS.

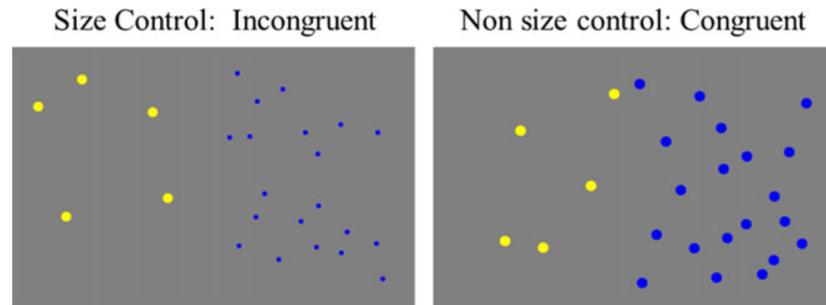
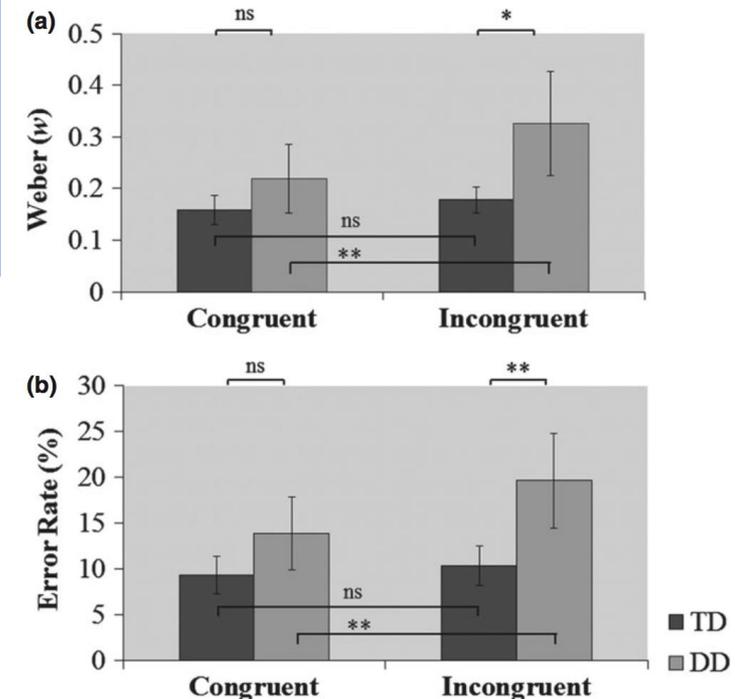


Figure 3 An example of incongruent and congruent stimuli administered in the Panamath task.

Testing Session	Cognitive Standardized Test Battery & Numerical Tasks
Fall 2009	Math Fluency
Spring 2010	Math Calculation Reading Fluency Spatial Recall Listening Recall Vocabulary Matrix Reasoning
Spring 2011 & Spring 2012	Math Fluency Math Calculation Reading Fluency Spatial Recall Listening Recall Vocabulary Matrix Reasoning
Fall 2013	Math Fluency Math Calculation Reading Fluency Panamath



Epilogue 2 : imagerie et entraînements

Mental number line training in children with developmental dyscalculia

K. Kucian^{a,b,*}, U. Grond^{a,b}, S. Rotzer^a, B. Henzi^a, C. Schönmann^a, F. Plangger^a, M. Gälli^c, E. Martin^{a,b,d}, M. von Aster^{a,b,e}

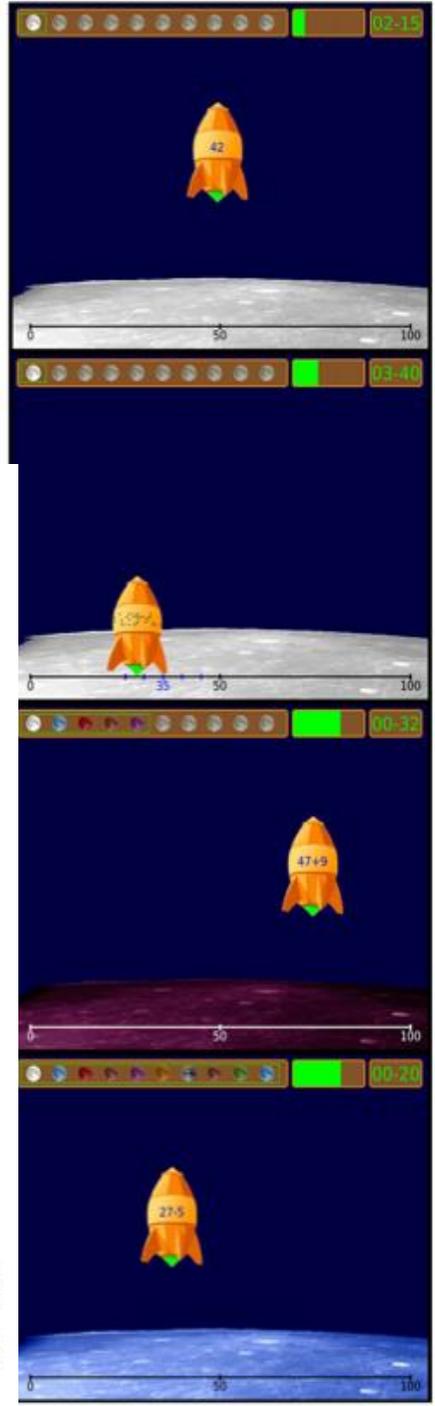
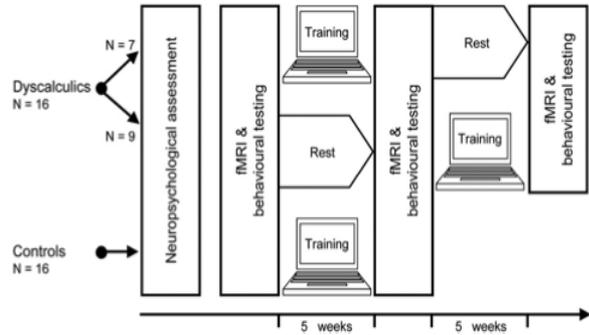
^a MR-Center, University Children's Hospital, Zurich, Switzerland
^b Pediatric Research Center, University Children's Hospital, Zurich, Switzerland
^c Methods in Action GmbH, Wollerau, Switzerland
^d Center for Integrative Human Physiology, University of Zurich, Zurich, Switzerland
^e Department of Child and Adolescent Psychiatry, German Red Cross Hospitals Westend, Berlin, Germany

ARTICLE INFO

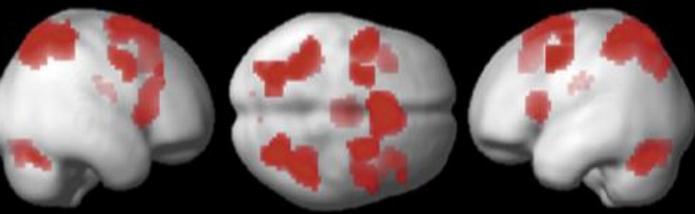
ABSTRACT

Article history:
 Received 30 June 2010
 Revised 25 January 2011

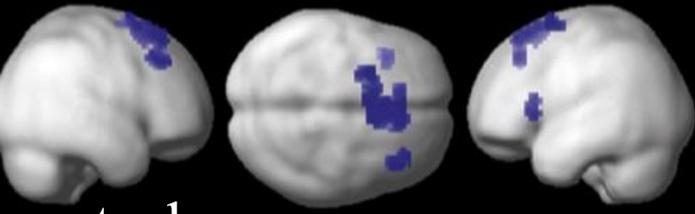
Developmental dyscalculia (DD) is a specific learning disability that affects the acquisition of math skills in children with normal intelligence and age-appropriate school education (prevalence 3-6%); an essential step in the development of mathematical understanding is the formation and automated access



Pre-Training
 (order vs. control task); $p < 0.01$, cluster-extent corrected



D.D.



control.

Après 5 semaines d'entraînement de la ligne numérique mentale, les deux groupes ont une réduction d'activité dans les régions frontales et pariétales, réduction plus nette chez les

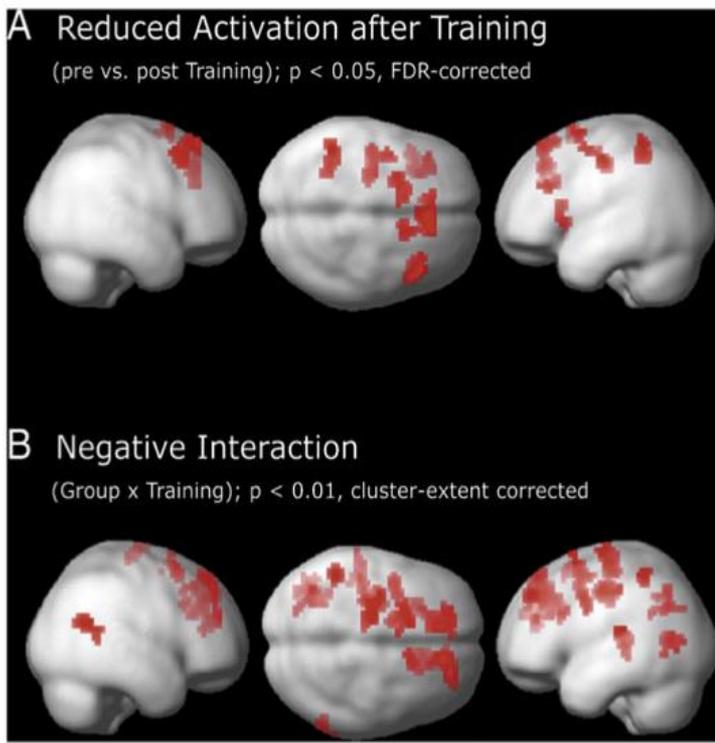
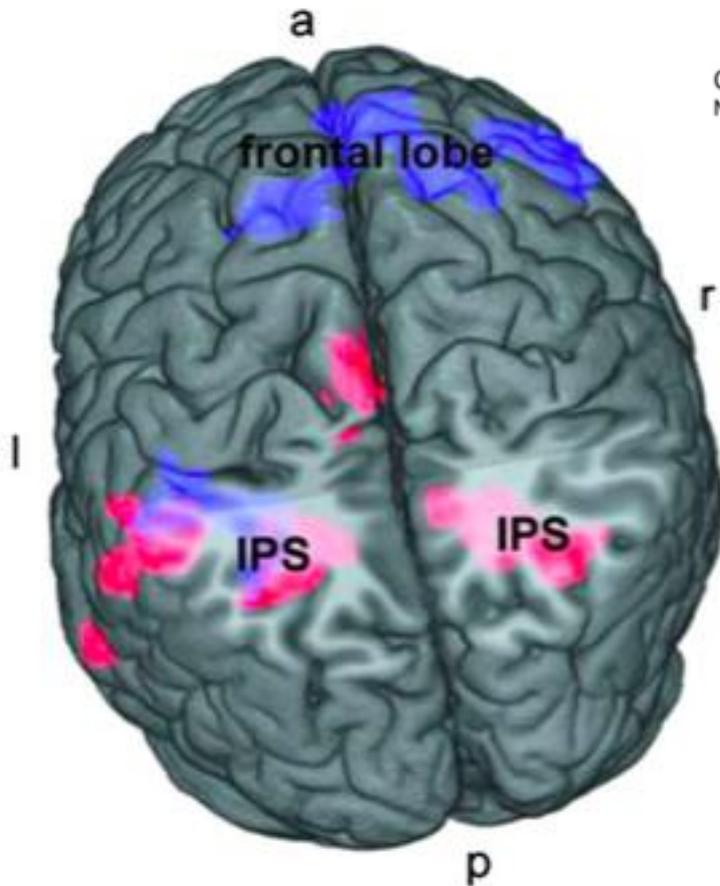
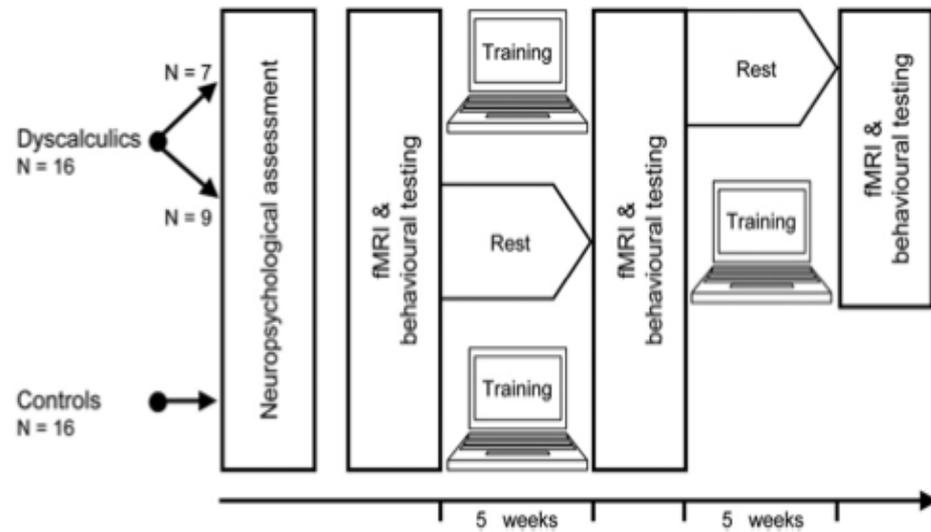


Fig. 6. Main effects of training. All illustrated results derive from the calculated ANOVA for the contrast order vs. control task. (A) Reduced brain activation for both groups after the training is shown at $p < 0.05$, FDR-corrected with a cluster size of 29 voxels or more. (B) Brain areas that showed a negative interaction between group and training are shown at $p < 0.01$, cluster-extent corrected.

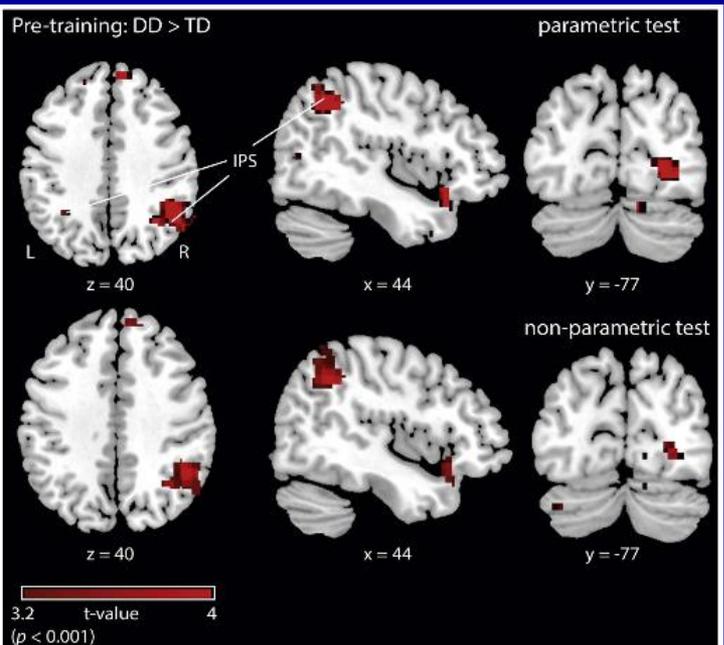
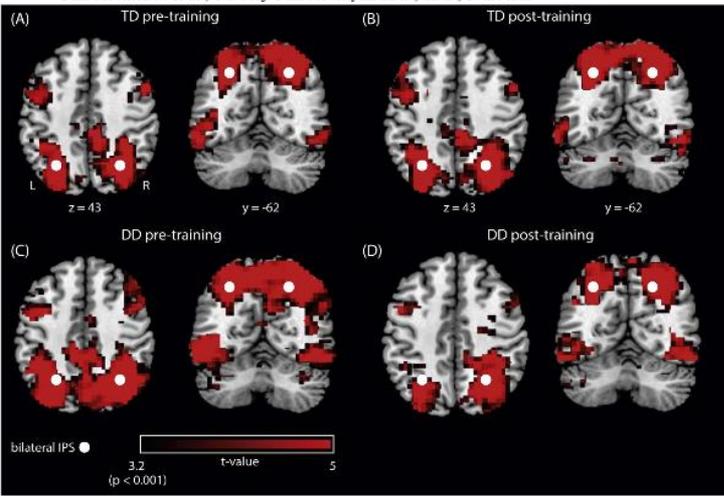


Modulation de l'activité cérébrale après une intervention informatisée ("Calcularis") visant à renforcer la ligne numérique mentale. En bleu : diminution d'activité chez les dyscalculiques et les témoins, principalement dans les régions exécutives frontales. En rouge : augmentation d'activité dans les régions pariétales supérieures chez les dyscalculiques après la période de repos. D'après Kucian et al., 2011.

Functional hyperconnectivity vanishes in children with developmental dyscalculia after numerical intervention

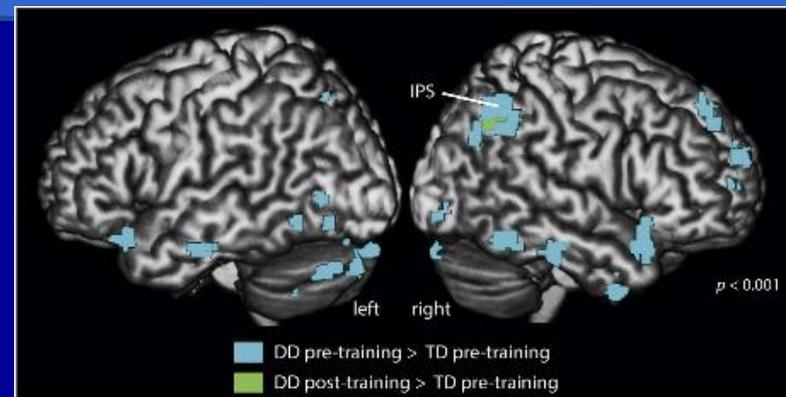
Lars Michels^{a,b,c,*}, Ruth O’Gorman^{b,c}, Karin Kucian^{b,c,d}

^a Clinic of Neuroradiology, University Hospital Zurich, Switzerland
^b Center for MR Research, University Children’s Hospital Zurich, Zurich, Switzerland
^c Children’s Research Center, University Children’s Hospital Zurich, Zurich, Switzerland



Using the intraparietal sulcus (IPS) as seed region, DD showed hyperconnectivity in parietal, frontal, visual, and temporal regions before the training controlling for age and IQ. Hyperconnectivity disappeared after training, whereas math abilities improved.

Children trained at home 15 min a day, 5 days a week for 5 weeks with the computer-based intervention software “Rescue Calcularis” (Kucian et al., 2011). A timer controls the daily training time, which is always visible during the game. After completing the 15 min training session, the program is automatically blocked until the next day. The program consists of a number line training program, which aims to improve the spatial representation of numbers and automated access to the internal mental number line, including an improved association between representations of numbers and space, the understanding of ordinality of numbers, estimation, and arithmetical skills.





→ ?

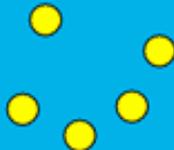
		2
	• • • •	4

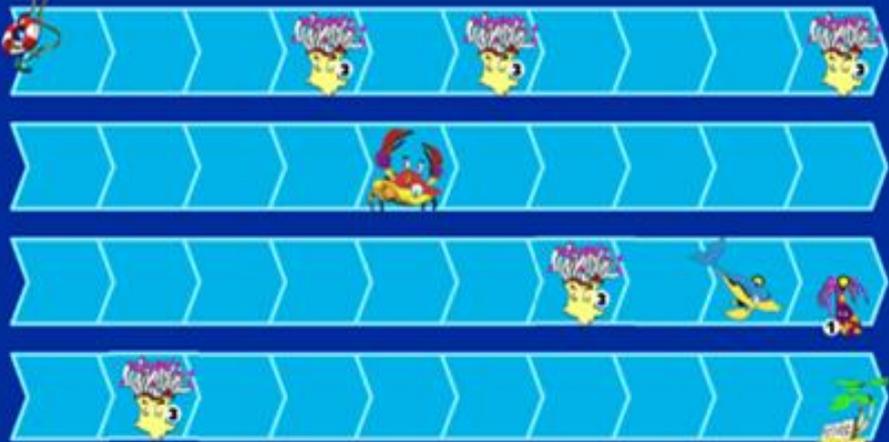
→ ?

4




5





→ ?

6-4=2

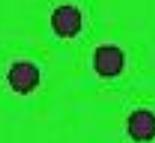




4+0=4







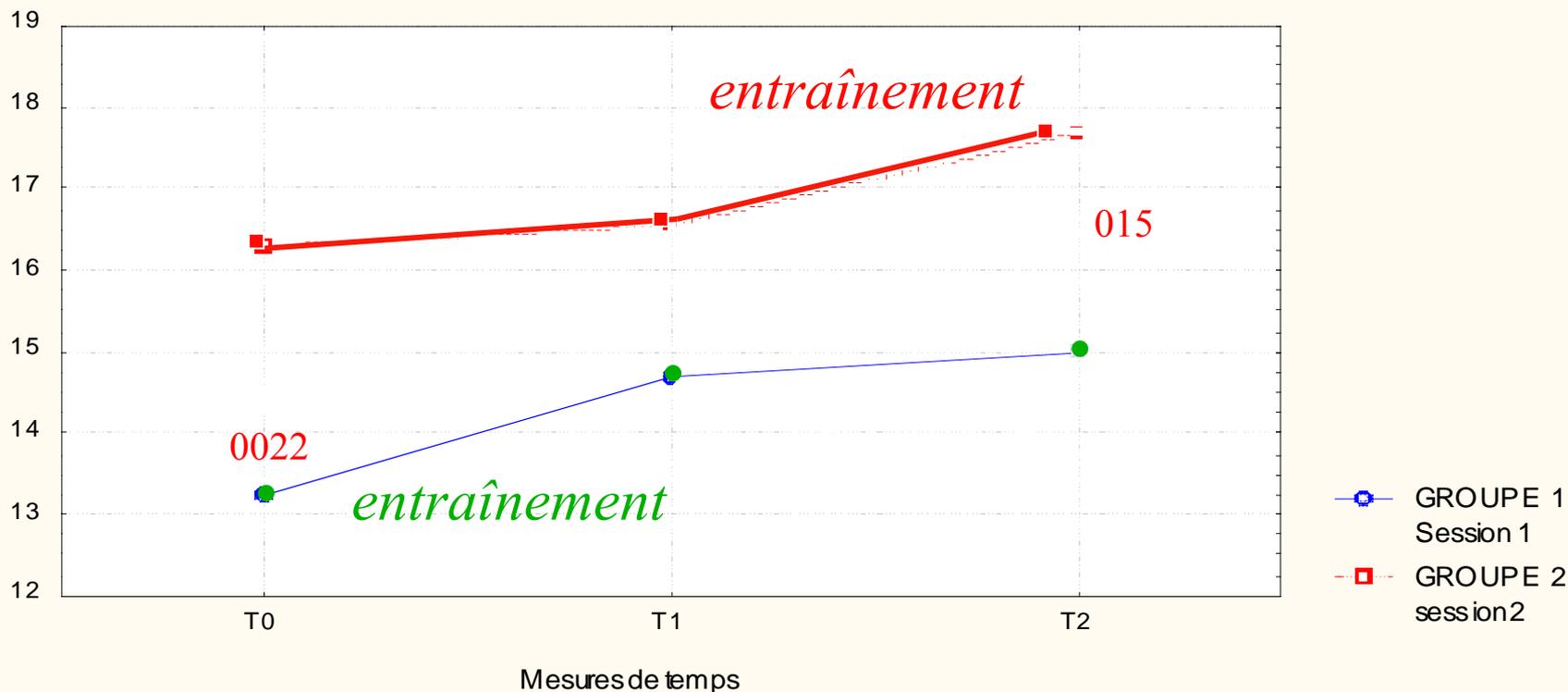

Efficacité de la "course au nombres" sur les aptitudes arithmétiques

- 48 sujets, âge moyen de 7.8 ans (7.0 à 9.0).
- issus de deux classes de CE1 d'un même établissement.
- Le niveau intellectuel de chaque enfant a été vérifié préalablement à l'aide de la batterie WISC-IV et/ou des épreuves PM47
- Exclusion si scores sont inférieurs au 25^{ème} percentile au PM 47 et/ou inférieurs à 8/19 au subtest Similitudes du WISC.
- Zareki : 6 enfants mesurés comme dyscalculiques

Protocole d'entraînement

- Entraînement quotidien, 1/2 heure par jour durant 4 semaines
- Design expérimental : la population totale a été divisée en deux groupes représentant approximativement la moitié de chacune des deux classes. Deux sessions de 4 semaines séparées par les vacances de février
- 3 mesures des capacités arithmétiques scolaires à T₀, T₁ et T₂
- Le groupe 1 a réalisé l'entraînement lors des 4 premières semaines (T₀ à T₁), le groupe 2 pendant les 4 semaines suivantes (T₁ à T₂)

Résultats (1)



Amélioration significative des performances en arithmétique
seulement lors de la période spécifiquement entraînée

Résultats (2) : mesure des subtests du Zareki®

- un effet significatif sur les subtests
 - « comptage oral à rebours » [F (1,90)= 10,95, p<.001] ;
 - « Dictée de nombres » [F (1,90)= 17,53, p<.0001] ;
 - « Position de nombres sur une échelle verticale » [F (1,90)= 17,30, p<.0001]
 - « calcul mental oral » [F (1,90)= 30,32, p<.0001] ;
 - « Problèmes arithmétiques présentés oralement » [F (1,90)= 11,93, p<.001]
- un effet non significatif sur les subtests
 - « dénombrement de points » [F (1,90)= .058, ns]
 - « comparaison de deux nombres présentées oralement » [F (1,90)= .080, ns] ;
 - « estimation visuelle de quantité » [F (1,90)= .09, ns] ;
 - « estimation qualitative de quantités en contexte » [F (1,90)= .30, ns] ;
 - « comparaison de deux nombres écrits » [F (1,90)= 2,40, ns].

Conclusion

- Cette étude confirme l'utilité d'un entraînement adaptatif spécifique de la représentation des magnitudes (comparaisons numériques et symboliques) sur les aptitudes mathématiques d'enfants en période d'apprentissage
- L'effet ne se réduit pas aux épreuves impliquant directement le code analogique (approximation, comparaisons...) mais s'étend également à diverses autres tâches comme le calcul mental ou la résolution de problèmes
- Cela suggère le rôle déterminant du système de représentation des magnitudes sur le développement des aptitudes mathématiques générales