

La dyscalculie développementale :
déficits cognitifs sous-jacents
et bases neuro-fonctionnelles

Marie-Pascale Noël
Université Catholique de Louvain
Belgique
Montpellier 4 mars 2011



Définition (DSM)

• Critères du DSM IV

- A. Les aptitudes arithmétiques, évaluées par des **tests standardisés**, passés de façon individuelle, sont **nettement au-dessous** du niveau escompté, compte tenu de l'**âge chronologique** du sujet, de son **niveau intellectuel** (mesuré par des tests) et d'un **enseignement approprié** à son âge
- B. La perturbation décrite dans le critère A **interfère de façon significative** avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante faisant appel aux mathématiques
- C. S'il existe un déficit sensoriel, les difficultés en mathématiques dépassent celles habituellement associées à celui-ci

Illustration

- Femme de 33 ans, intelligence normale
- Additions simples: 15% d'erreurs
 $1+4=4$, $3+5=9$
- Multiplications simples: 39% d'erreurs
 $5 \times 5 = 35$, $7 \times 4 = 21$, $0 \times 5 = 5$
- Divisions: impossibles
- Calcul sur les doigts
- Pas de diplôme de primaire
- => difficultés de gestion de l'argent
- => difficultés persistantes



ce qu'ils en disent

Modérateur : Comment les enfants se sentent-ils dans le cours de math quand ils perdent le fil ?

Enfant 1 : C'est horrible.

Modérateur : Horrible ? Pourquoi donc ?

Enfant 1 : Je ne sais pas.

Enfant 3 (chuchote) : Il le sait.

Modérateur : Allez, essaye de me dire.

Enfant 1 : Tu te sens stupide.

Enfant 5 : Je me sens exclu parfois.

Enfant 2 : Oui !

Enfant 5 : Quand je ne sais pas quelque chose, je voudrais être quelqu'un d'intelligent et je m'en veux.

Enfant 4 : J'ai envie de pleurer et je voudrais être à la maison avec maman et je voudrais ne plus avoir à faire aucune math.



Prévalence & comorbidité

- Barbarelli (2005): 5718 enfants de 6 à 19 ans
 - > 5.9 % de dyscalculie (score en math < QI)
 - 43% d'entre eux sont également dyslexiques
 - Ratio garçon:filles = 2:1
 - 50% d'entre eux n'ont pas été détectés à l'école
 - « cumulative incidence of dyscalculia » : Risque attendu d'être diagnostiqué dyscalculique à un âge spécifique
 - Jusqu'à 7 ans : 1,3 – 2,1%
 - Jusqu'à 13 ans : 5,3 – 11%
 - Jusqu'à 19 ans : entre 5,9% et 13,8% (selon les formules)
 - => apparaît surtout entre 8 et 13 ans
 - 1,6-2,2 garçons pour 1 fille : prépondérance des garçons
 - 57% - 64% des MD sont aussi RD

Difficultés persistantes

- Gross-Tsur, Manor & Shalev (1996): 3029 enfants israéliens, 10 ans
 - Critère: < moyenne des enfants 2 ans plus jeunes, QI > 80
 - 6,5% rencontrent le critère
 - 1,1:1 filles:garçons
 - QI des DC: 98,2
- Shalev & al. (2005, Dvptal Med & Child Neurolol).
 - sur un échantillon de 6 ans
 - Parmi les 104 DC
 - 40 % : score < pc 5 test standardisé
 - 55% : score entre pc 5 et pc 25

- Les difficultés sont persistantes mais elles changent au cours du temps
 - Difficultés dans le comptage dans les calculs simples
 - Difficultés dans la récupération des faits arithmétiques en MLT
 - Erreurs de procédure dans les calculs complexes en colonnes
 - Difficultés de compréhension et de traitement des fractions et des nombres décimaux

Facteur cognitif général:
pauvreté de la MCT

Méta-analyse de comparaisons DC - contrôles

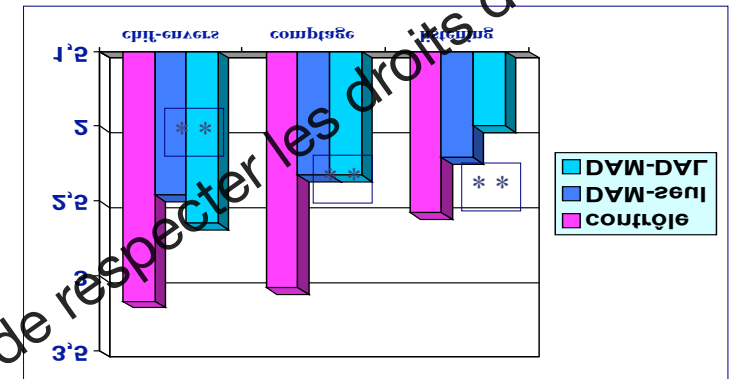
• Mesures

- BP empan de mots, lettres
- Mémoire de travail (AC) verbale
- Mémoire de travail visuo-spatiale (AC)

• Résultats

- DC < contrôles
- Mémoire de travail verbale: $d = -0,70$ (modéré)
- Mémoire de travail visuo-spatiale: $d = -0,63$
- => **faible AC**

Facteurs cognitifs généraux: la mémoire de travail



Noël & Verstraete
24 contrôles de 8 ans
24 DC: 12 DC-DL

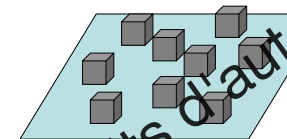
Prédire la performance en math

• 77-83 enfants

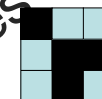
- Testé en début de première année (CP: 6 ans)
 - BP: répétition de non-mots, empan chiffres avant,
 - VSSP: blocs de Corsi, matrices
 - AC: empan de phrases, de comptage, chiffres envers
- Testé en math
 - En première année, 4 mois plus tard
 - En deuxième année

De Smedt et al. 2009, JECP

Blocs de Corsi



Matrices



Empan de phrases

les pantalons sont en *fer*
on met des fleurs dans des *pots*

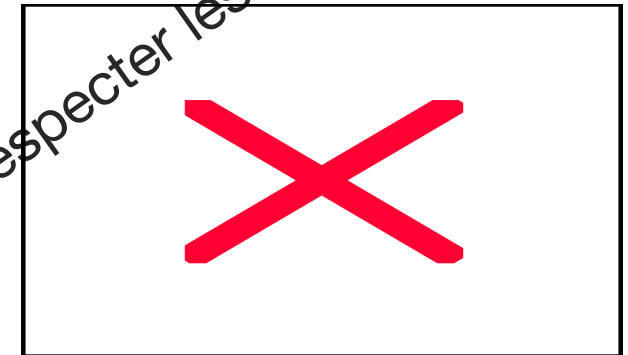
le chocolat a bon goût
les tortues fabriquent des coeurs
les pompiers éteignent le feu

	BP	VSSP	AC
Math 1ère année	0,29*	0,47**	0,52**
Math 2ième année	0,43**	0,27*	0,53**

- ⇒ Importance du VSSP en 1ère année,
- ⇒ de la BP en 2ième année
- ⇒ Mais AC = meilleur prédicteur en 1ère et 2ième année

Mémoire de travail et développement du calcul

- Test des capacités de MdeT (BP & AC) chez des enfants en début de CP
- stratégies d'addition 4 mois plus tard



Noël, Seron & Trovarely (2004)

MdT et maturité des stratégies de comptage

Counting all: $2+5=1,2,3,4,5,6,7$

Counting min: $2+5= 6,7$

- Développement de la chaîne numérique verbale: élaboration
 - Compter à partir d'un nombre différent de 1: chaîne sécable
 - compter n pas à partir d'un nombre : chaîne dénombrable

Mémoire de travail et développement du comptage

80 enfants de
4-5 ans



Noël, 2009, Dev Psy

Lien possible entre faiblesse de mémoire de travail et dyscalculie

- Un calcul rapide = récupération de la réponse en MLT: FA
- Comment se constituent les FA en MLT ?
 - coactivation en MdeT du problème et de la réponse (Geary, Psych Bull)

$$4 + 3 = (1,2,3,4,5,6,) 7$$

$$4 + 3 = (5,6,) 7$$

Faibles capacités de MdeT: risque de dyscalculie ?

- Faibles capacités de M de T =>
 - Vocabulaire numérique plus réduit
 - Chaîne numérique plus restreinte
 - Moins bon niveau d'élaboration de la chaîne numérique verbale
 - Stratégies de comptage en addition moins matures
 - Moins bonnes capacités de monitorer son comptage lors de calculs
 - Plus d'erreurs de calcul
 - Utilisation de supports externes (comptage sur les doigts)
- **mauvaises conditions pour établir, en MLT, des associations entre termes d'un problème (4 & 3) et solution (7)**

Gold standard

- Idée d'un marqueur biologique qui donne base cognitive spécifique clairement identifiée

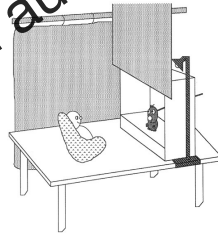
... Un déficit du sens du nombre ?

Les capacités de discrimination numérique des bébés

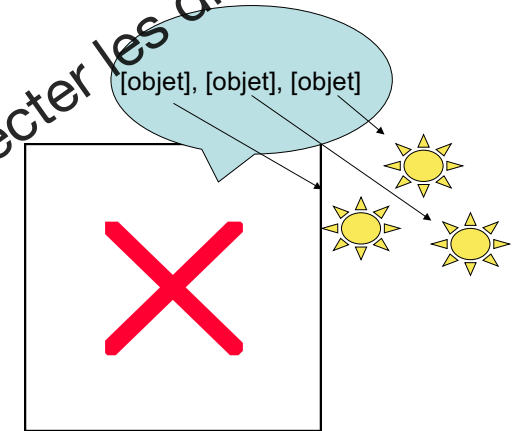
Discrimination numérique chez le bébé

2 versus 3 objets

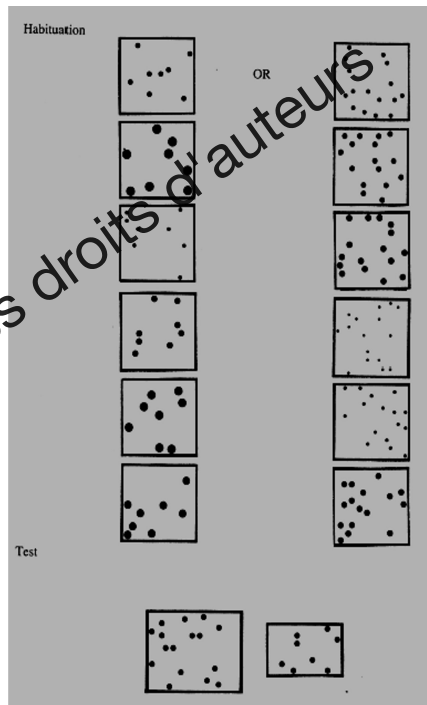
- 4,5 mois (Starkey & Cooper, 80)
- Nouveaux-nés d'une semaine (Antell & Keating, 83)
- Ensembles homogènes vs. hétérogènes (Strauss & Curtis, 81)



- Mécanisme d'un système de maintien de la trace des objets
 - Correspondance terme à terme
 - Mais capacité limitée (3-4 maximum)



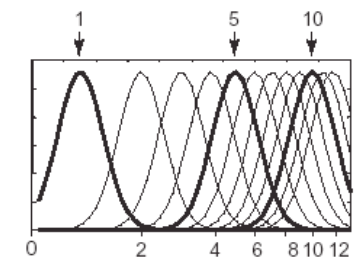
- Xu & Spelke (2000):
- 6 mois: discrimination entre 8-16 mais pas 8/12
- Xu & Ariaga, 2007
- 9 mois: discrimination de rapports 2/3 mais pas 3/4



Le sens du nombre

- Les bébés, les animaux
- Représentation analogique et approximative
- Modèle de la ligne numérique

(b) Logarithmic model with fixed variability



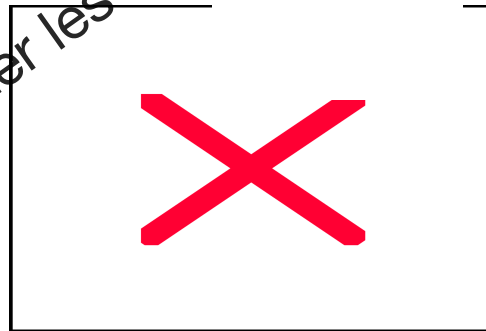
Seuil de discrimination = acuité numérique (w)

Rapport $n1/n2 \Rightarrow w = n2-n1/n1$

Rapports $1/2 \Rightarrow w = 1$

Rapport $2/3 \Rightarrow w = 0,5$

Rapport $3/4 \Rightarrow w=0,33$

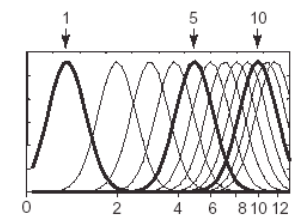


Halberda, Feigenson, 2008, Devlp Psych

Le sens du nombre

- dyscalculie = déficit du sens du nombre (Butterworth, 2005)

(b) Logarithmic model with fixed variability

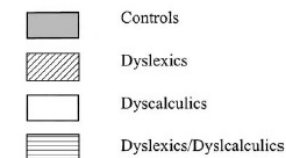
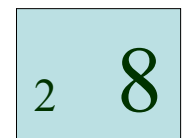
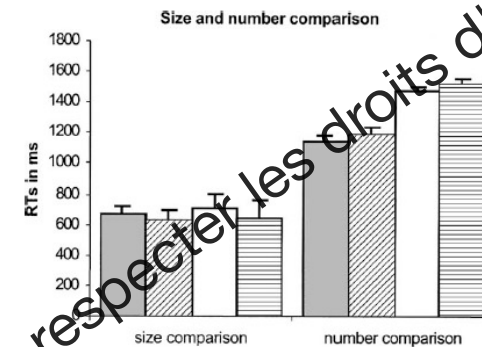


Facteur numérique: le sens du nombre

- Populations (8-9 ans) n =
 - 18 enfants contrôles
 - 10 enfants DL (< pc25 en lecture)
 - 10 enfants DC (< -3ET en FA)
 - 11 enfants DL et DC

Landerl, Bevan & Butterworth (2004) Cognition

DC et DC-DL sont plus lents pour comparer la magnitude de 2 chiffres arabes, mais pas leur taille physique



Landerl, Bevan & Butterworth (2004):

Dysfonctionnement du

« number sense »

Mais toutes ces tâches requièrent le
traitements de symboles Arabes ou
numéraux verbaux



Collections
Ex :
• •

Symboles
Ex :
3



Facteur numérique : des symboles à la magnitude

- population

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

Rousselle & Noël (Cognition, 2007)

Dans la dyscalculie

- Tâches

- Non symbolique
- Symbolique



condition
facile

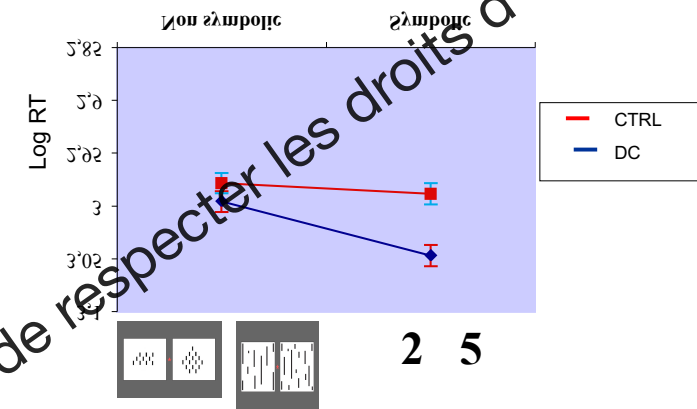
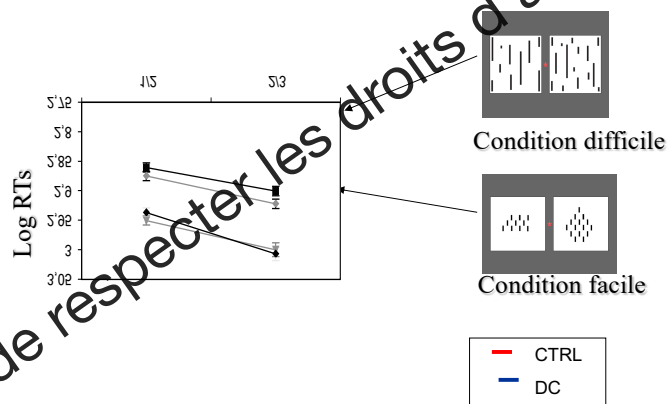


Condition
difficile

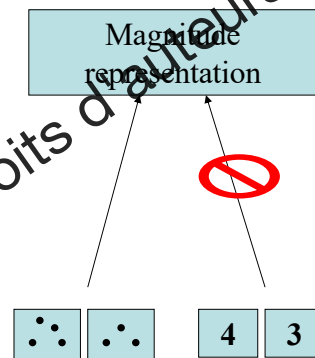
2 5

Rousselle & Noël, 2007, Cognition

comparaison de collections



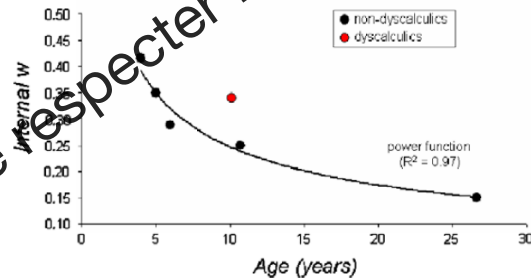
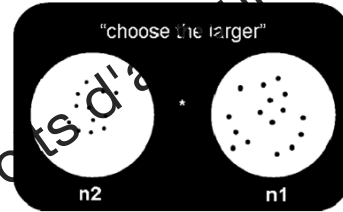
Conclusion



- ⇒ La représentation de la magnitude est préservée
- ⇒ Difficultés à accéder à la représentation de la magnitude à partir de codes symboliques

Mais les choses ne sont pas si simples ...

- Population
 - Enfants de 3 à 6 ans
 - Enfants DM (10 ans)
 - Enfants contrôles (10 ans)
 - 20 adultes



Piazza, M., Facoetti, A., & al, Cognition, 2010

Une interprétation développementale 2

	age	symbolique	Non-symbolique
De Smedt & Gilmore (2011)	6 ans		
Rousselle & Noël (2007)	7 ans		
Landerl & al. (2004)	8-9 ans		
Iuculano et al. (2008)	8-9 ans		
Piazza	10 ans		
Mussolin, Mejias & Noel (2010)	10-11 ans		
Pride & Ansari (2007)	12 ans		

Une interprétation développementale 2

	age	symbolique	Non-symbolique
De Smedt & Gilmore (2011)	6 ans	DC<C	
Rousselle & Noël (2007)	7 ans	DC<C	
Landerl & al. (2004)	8-9 ans	DC<C	
Iuculano et al. (2008)	8-9 ans	DC<C	
Piazza	10 ans	-	
Mussolin, Mejias & Noel (2010)	10-11 ans	DC<C	
Pride & Ansari (2007)	12 ans	-	

Une interprétation développementale 2

	age	symbolique	Non-symbolique
De Smedt & Gilmore (2011)	6 ans	DC<C	DC=C
Rousselle & Noël (2007)	7 ans	DC<C	DC=C
Landerl & al. (2004)	8-9 ans	DC<C	-
Iuculano et al. (2008)	8-9 ans	DC<C	DC=C
Piazza	10 ans	-	DC<C
Mussolin, Mejias & Noel (2010)	10-11 ans	DC<C	DC<C
Pride & Ansari (2007)	12 ans	-	DC<C

Une interprétation développementale ?

- Les premiers déficits ne sont pas observés dans les tâches non-symboliques
 - Pas dus à un déficit de l'ANS
- Les premiers déficits sont observés dans les tâches symboliques

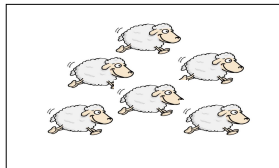
⇒ Comment comprendre cela ?

⇒ Retour au développement du sens des mots nombres

Développement du sens des mots nombres

- Liste du comptage: un, deux, trois, quatre, cinq, six, sept, huit ...
 - Compréhension des premiers mots
 - « un » $\pm$ 36 mois
 - « deux » $\pm$ 38 mois
 - « trois » $\pm$ 42 mois
- subset knowers*
- Mise en correspondance des mots connus avec l'ANS mais pas des autres, même de manière approximative

- Deux collections dans un rapport 1:1 (e.x., 3-6, 10-5)
- “peux-tu me montrer où il y a six moutons ?”

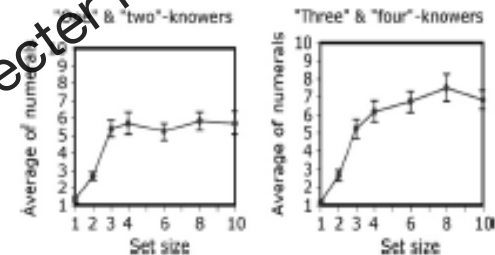


- Mots de cardinalité connue: 86% rc
- Mots de la chaîne mais de cardinalité inconnue: 49% rc (hasard)
- **Même pas de mise en correspondance approximative avec l'ANS**

Condry & Spelke, 2008 JEP:G

- Collections de 1 à 15 points pendant 1 s
- Estimer sans compter
- Nombre moyen produit en fonction de la taille de la collection

- Subset knowers: Courbe plate en dehors des nombres connus

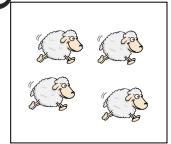


Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

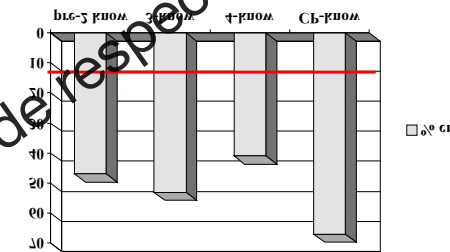
Développement du sens des mots nombres

- Compréhension de tous les mots connus et des principes du comptage (± 44 mois)
 - Maîtrise de la fonction de succession

- L'expérimentateur place N items dans la boîte
- "je place quatre moutons dans la boîte"
- "combien y a en a-t-il ?"
- "Maintenant, j'ajoute un / deux moutons dans la boîte"
- Y en a-t-il cinq ou six ?



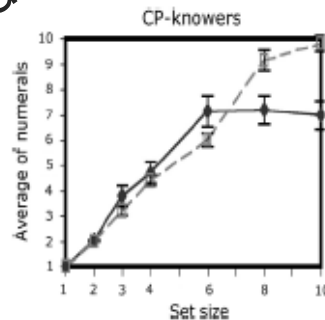
=> seuls les CP knowers à hasard



Sarnecka & Carey, *Cognition*, 2008

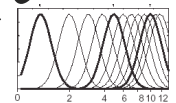
Développement du sens des mots nombres

- Mapping des mots avec l'ANS (± 50 mois)
- 1 à 15 points pendant 1 s
- Estimer sans compter
- Nombre moyen produit



Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

- Un modèle développemental

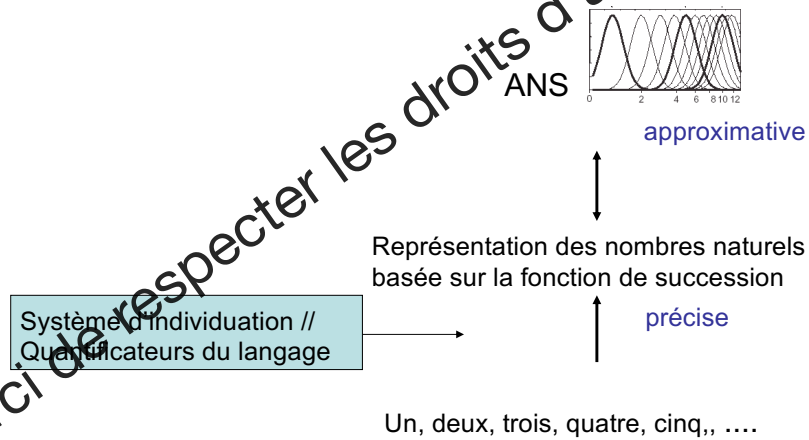


Représentation des nombres naturels basée sur la fonction de succession

Système d'individuation // Quantificateurs du langage

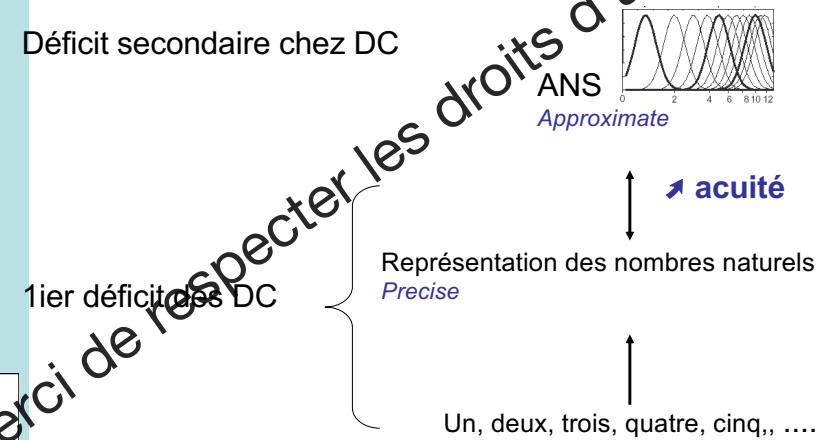
Un, deux, trois, quatre, cinq,,

- Un modèle développemental



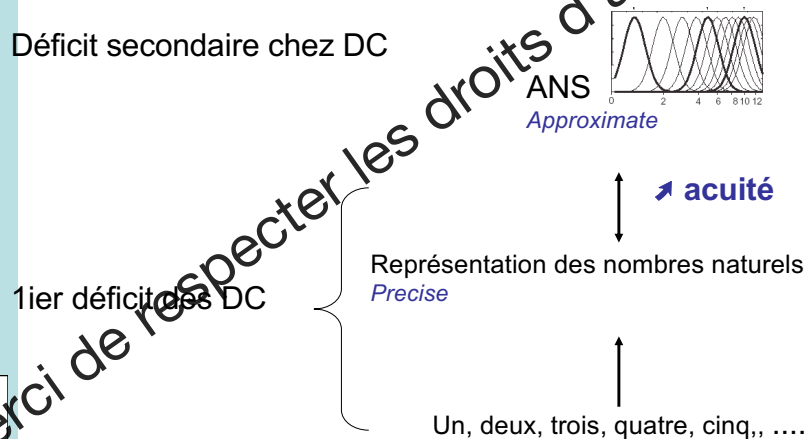
- Un modèle développemental

Déficit secondaire chez DC



- Un modèle développemental

Déficit secondaire chez DC

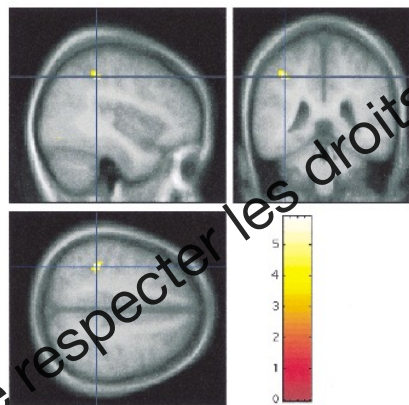


- Le déficit primaire de la DC concernerait la construction d'une représentation numérique exacte, ou sa mise en correspondance avec l'ANS
- Le déficit de l'ANS serait secondaire

bases neurofonctionnelles

- Adolescents (nés prématurés)
 - Résultats faibles en math par rapport à leur niveau d'intelligence
 - Résultats en math dans la norme
- Résonance magnétique structurale au repos

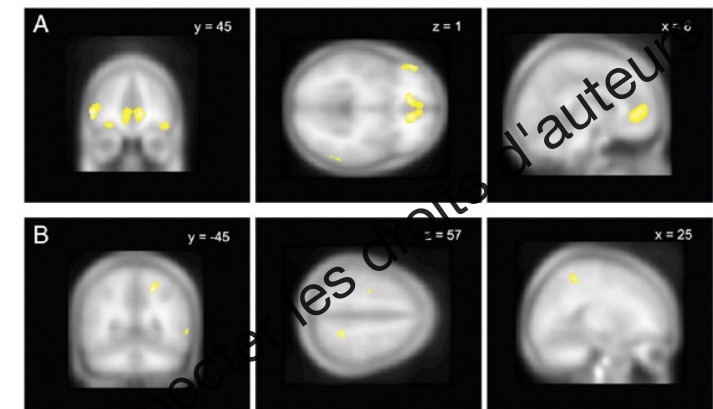
Isaacs, Edmonds, Lucas & Badian (2001)



Densité de matière grise plus faible dans le sillon intra-pariétal gauche chez ado pauvres en math

Isaacs, Edmonds, Lucas & Badian (2001)

Bases neuroanatomiques



12 enfants DD (9 ans, pas de comorbidité) et 12 contrôles
Matière grise: réduction de volume chez DC dans les régions frontales (A : faiblesse de MdT ?) et dans le sillon intrapariétal droit (B : RS du nombre ou MdT ou attention ?)

- Matière blanche: réduction dans les régions parahippocampiques (mémoire)

Rotzer et al. (2008) NeuroImage

Bases neurofonctionnelles

- 8 enfants DC (score < 1,5 SD) et 8 enfants contrôles, âge = (12 ans)
- Comparaison non-symbolique

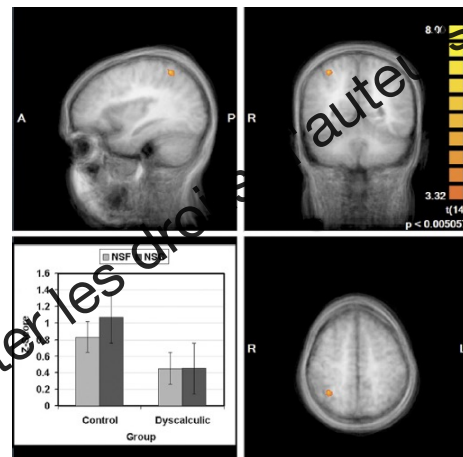
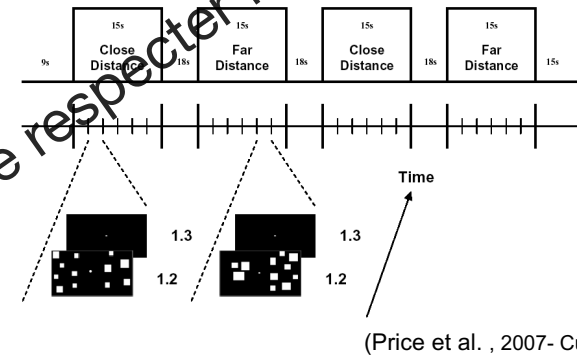


Figure 1. Interaction of group X distance in the right intraparietal sulcus.

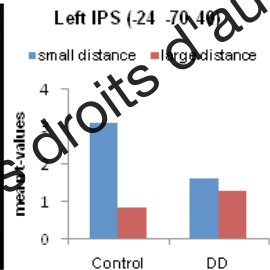
- SIP droit présente une activation moins modulée par la distance des collections chez enfants DC que chez les enfants contrôles (NSF=far distance, NSC: close distance)

(Price et al. , 2007- Current Biology)

- 15 enfants DD (10 ans), 18 enfants contrôles
 - 2 chiffres: choisir le plus grand
 - 5-6 (petite distance)
 - 2-7 (grande distance)

Mussolin, De Volder, . & Noël, 2010, J of Cog Neurosc

A



Comparaison de deux chiffres arabes:
Modulation de l'activité du sillon intra-pariétal G et D avec la distance des chiffres, seulement chez les sujets contrôles

Mussolin, De Volder, . & Noël, 2010, J of Cog Neurosc

Conclusion



- Dyscalculie aussi fréquente que la dyslexie
- Trouble persistant
- Causes ?
 - Facteurs cognitifs généraux: mémoire de travail
 - Sens du nombre ou Accès au sens du nombre à partir des symboles
 - Corrélats neuroanatomiques et fonctionnels au niveau des sillons intra-pariétaux (entre autres)

Merci de votre attention !

« Il y a trois sortes de mathématiciens: ceux qui savent compter et ceux qui ne savent pas »

