

Identification d'un trouble numérique de base dans la dyscalculie développementale

Marie-Pascale Noël
Université Catholique de Louvain
Belgique



Définition (DSM)

• Critères du DSM IV

- A. Les aptitudes arithmétiques, évaluées par des **tests standardisés**, passés de façon individuelle, sont **nettement en 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



Prévalence & comorbidité

- 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
- Barbaresi (2005): 5718 enfants de 6 à 19 ans
 - > 5.9 % de dyscalculie (score en math < QI)
 - 46% d'entre eux sont également dyslexiques
 - Ratio garçon:filles = 2:1
 - 50% d'entre eux n'ont pas été détectés à l'école



Difficultés persistantes

- Shalev & al. (2005, Dvptal Med & Child Neurolol).
 - suivi 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



Shalev & al. (2005). Dvptal Med & Child Neurolol



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.



- Idée d'un marqueur biologique ou d'une base cognitive spécifique clairement identifiée

... Un déficit numérique de base ?



Les bases biologiques du système

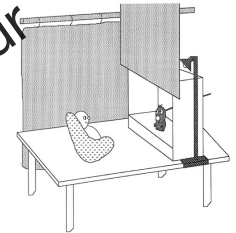
soumis au droit d'auteur



Discrimination numérique chez le bébé

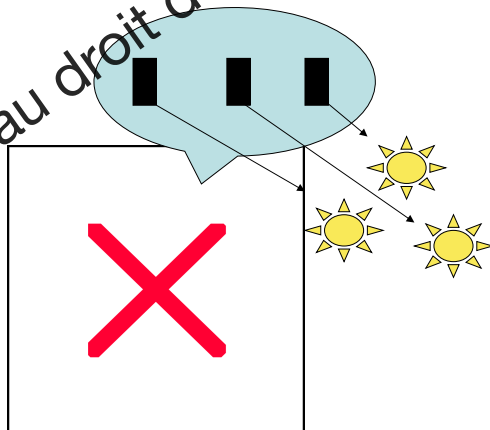
2 versus 3 objets

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



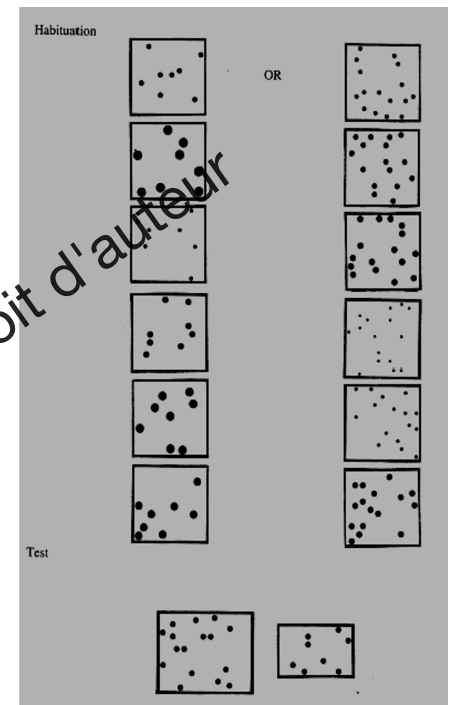
- Système d'individuation // des objets
 - Correspondance terme à terme
 - Mais capacité limitée (3-4 maximum)

soumis au droit d'auteur



Xu & Spelke (2000):

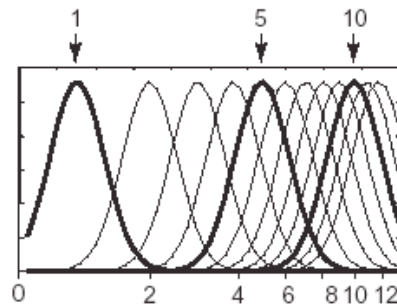
- 6 mois: discrimination entre 8-16 mais pas 8/12
- Xu & Ariaga, 2007
 - 9 mois: discrimination de rapports 2/3 mais pas 3/4



ANS: approximate number system

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

(a) Logarithmic model with fixed variability



Seuil de discrimination = acuité numérique (w)

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

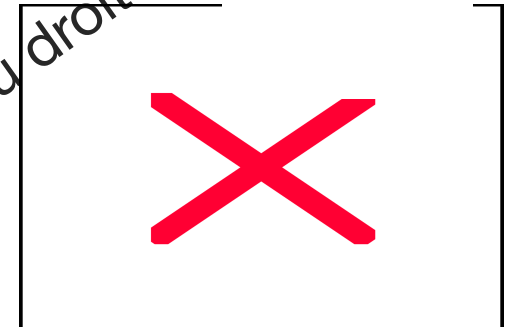
Rapports $1/2 \Rightarrow w = 1$

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

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

6 mois: $1/2$

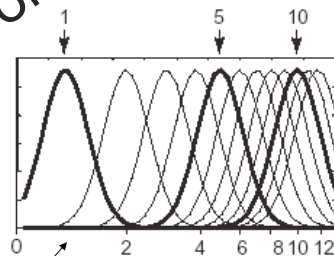
9 mois: $2/3$



Halberda, Feigenson, 2008, Devlp Psych

- ANS: base de la signification des mots nombres?
 - Autour de 3 ans: apprentissage de la suite numérique verbale
 - Hypothèse: Signification des mots nombre apprise par couplage avec cette ANS

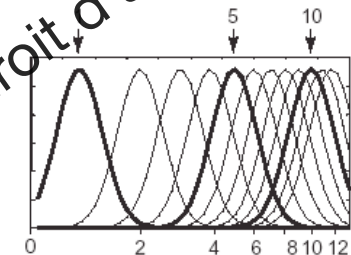
(b) Logarithmic model with fixed variability



Un, deux, trois, quatre

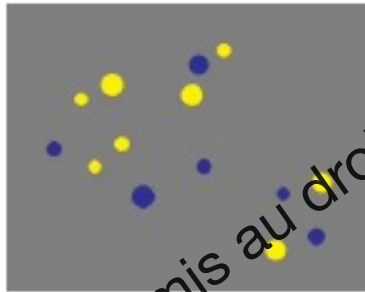
- Cette ANS serait aussi la base des apprentissages mathématiques

(b) Logarithmic model with fixed variability



$2 + 4 = \dots$

Population tout venant

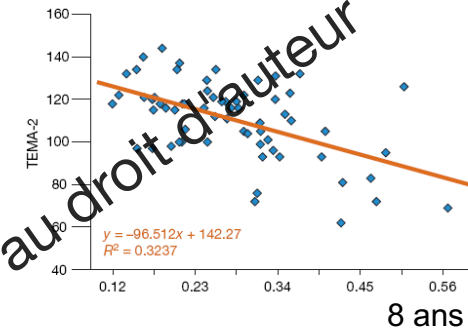
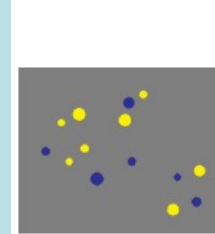


- 64 adolescents de 14 ans
- Mesure de l'acuité de l'ANS corrèle avec les performances scolaires en math à 14 ans, mais aussi avant

X

Halberda, Mazocco & Feigenson (2008)

Population tout venant



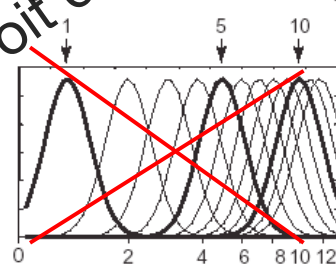
X

Halberda, Mazocco & Feigenson (2008)

Dyscalculie développementale

- Déficit de l'ANS
- => Difficulté d'apprendre le sens des mots nombre
- => Difficulté dans les apprentissages math ultérieurs

(b) Logarithmic model with fixed variability

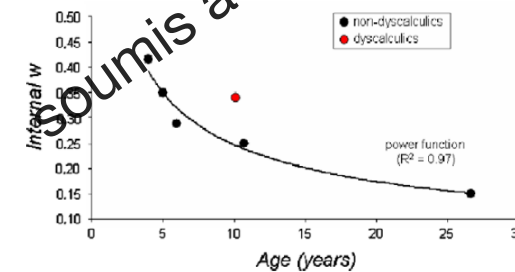
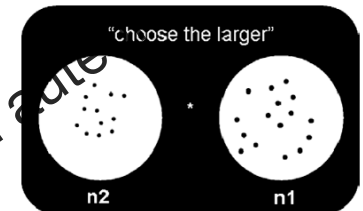


Un, deux, trois, quatre

X

Acuité de l'ANS plus faible chez les enfants avec dyscalculie

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

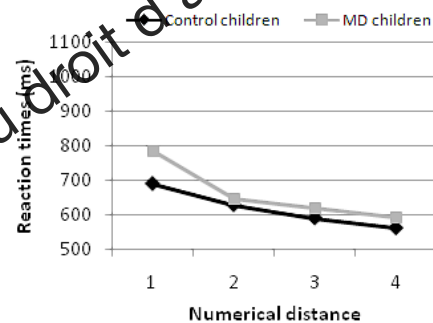


Piazza, M., Facoetti, A., & al, *Cognition*, 2010

X

- 15 dysca (10-11 y.o.), < pc 15 dans fluence de X°
- 15 contrôles (10-11 y.o.)
- Lecture et QI dans la norme

Patterns de points

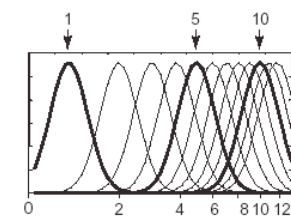


Mussolin, Mejias & Noël, 2010, *Cognition*

Première histoire

- Approximate number system
 - H1: Base de la compréhension du sens des mots nombres
 - H2: base des apprentissages numériques
 - H3: Dyscalculie due à un déficit à ce niveau

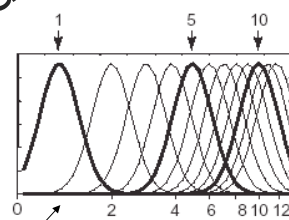
(b) Logarithmic model with fixed variability



Mais les choses ne sont pas si simples ...

- H1: ANS: Base de la compréhension du sens des mots nombres ANS?

(b) Logarithmic model with fixed variability



Un, deux, trois

Acquisition du sens des mots nombre

- Wynn (1992)
 - Enfants de 2-3 ans
 - 3 tâches:
 - Dénombrer une collection (sets de 2 à 6)
 - donner des objets
 - Montre-moi (ex: trois étoiles)
 - Décalage entre compter et les 2 autres tâches
- Développement lent dans les 2 dernières tâches: près d'un an entre réussite pour 2 et pour 4, chez des enfants qui sont capables de compter jusqu'à 4 au moins



- L'apprentissage de la signification de la valeur cardinale des mots nombre
 - Processus lent
 - Qui suit un ordre déterminé



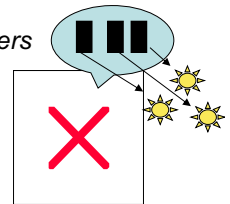
Développement du sens des mots nombres

- 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

=> Selon une succession déterminée

- Aide
 - Système d'individuation // des objets
 - Des quantificateurs du langage (singulier / pluriel)
 - Pas l'ANS (approximative)



Mise en correspondance des mots connus avec l'ANS mais pas des autres

- Deux collections dans un rapport 1/2 (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

Découverte de la fonction de succession

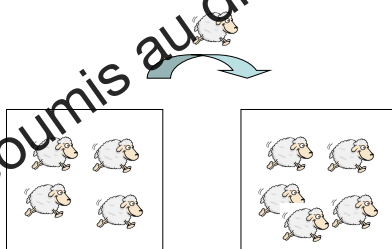
- N items sont placés dans chaque plateau
 - Regarde, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là
- E déplace un item d'un plateau à l'autre
 - Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6 moutons. Où sont les 6 moutons?



Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

Découverte de la fonction de succession

- N items sont placés dans chaque plateau
 - Regarde, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là
- E déplace un item d'un plateau à l'autre
 - Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6 moutons. Où sont les 6 moutons?

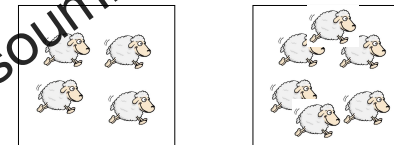


X

Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

Découverte de la fonction de succession

- N items sont placés dans chaque plateau
 - Regarde, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là
- E déplace un item d'un plateau à l'autre
 - Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6 moutons. Où sont les 6 moutons?

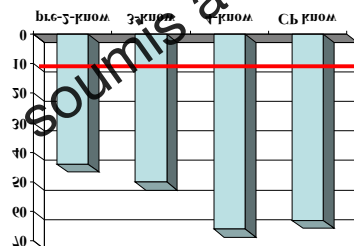


X

Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

Découverte de la fonction de succession

- N items sont placés dans chaque plateau
 - Regarde, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là
- E déplace un item d'un plateau à l'autre
 - Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6 moutons. Où sont les 6 moutons?



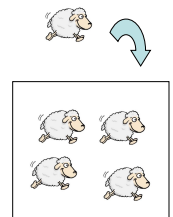
RC > hasard seulement pour les 4-knowers et CP-knowers

Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

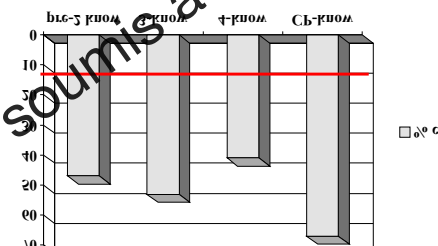
X

Découverte 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 > hasard



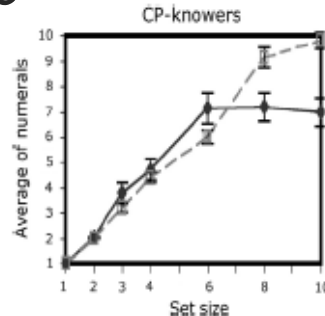
Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

X

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

- Deux sous-groupes d'enfants CP
 - Courbe plate: CP-non-mappers
 - Courbe croissante: CP-mappers



- => d'abord découverte des principes du comptage **et puis** mise en correspondance avec l'ANS

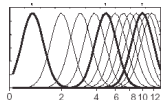
Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

Développement du sens des mots nombres

- Compréhension progressive et selon une succession stricte du sens des premiers mots nombre
 - Aide du système d'individuation // des objets
- Découverte de la fonction de succession
- Compréhension de la valeur cardinale de tous les mots connus de la chaîne (connaissance des principes à ± 44 mois)
- Mise en correspondance des mots avec l'ANS

- H 1: ANS: Base de la compréhension du sens des mots nombres?

ANS: R° approximative

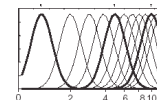


NON

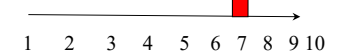
Un, deux, trois, quatre, cinq,,

- Mots nombres => développement d'une nouvelle R° du nombre

ANS: R° approximative



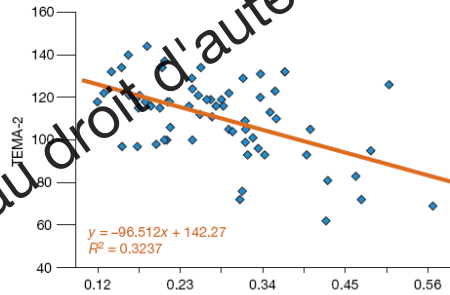
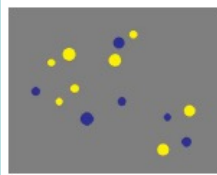
Représentation exacte des nombres naturels basée sur la fonction de succession



Système d'individuation // Quantificateurs du langage

Un, deux, trois, quatre, cinq,,

- H2: ANS base des apprentissages mathématiques ?



Halberda, Mazocco & Feigenson (2008)

Dans population générale

- Enfants de 6 ans, 7 ans, 8 ans
- Tâches
 - Test de performance en math
 - Woodcock Johnson Math
 - Fluence math (+, -, x in 3')
 - Comparaison de magnitude de 2 symboles (1 à 9) ou de deux collections (1 à 9 items)

3 - 7



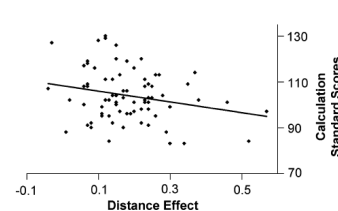
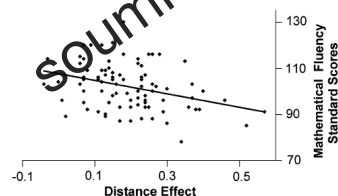
Holloway & Ansari, 2009, JECp

La tâche non-symbolique ne corrèle pas avec le score de calcul ($r_{(85)} = -.07$) ou la fluence en math ($r_{(86)} = .037$)



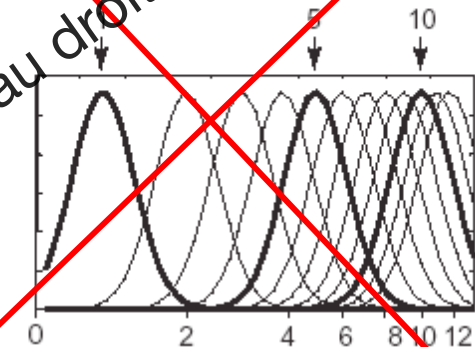
La tâche symbolique (sur les chiffres) corrèle avec le score de calcul ($r_{(85)} = .422^*$) et le score de fluence math ($r_{(86)} = .339^{**}$)

3 - 7



H3: La dyscalculie: un déficit de l'ANS?

(b) Logarithmic model with fixed variability



La dyscalculie: un déficit de l'ANS?

• 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)



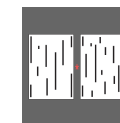
Rousselle & Noël (Cognition, 2007)

• Tâches

- Non symbolique
- Symbolique



condition facile

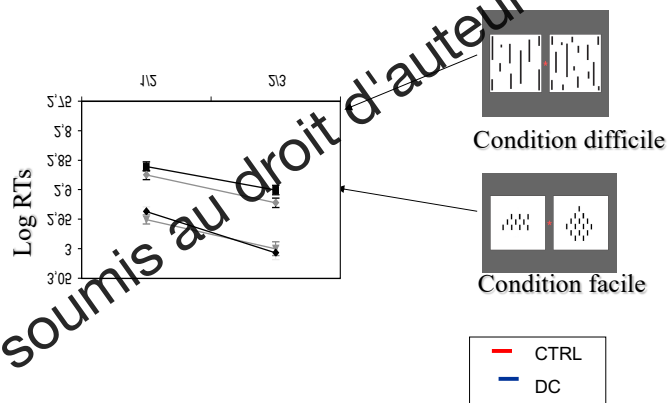


Condition difficile

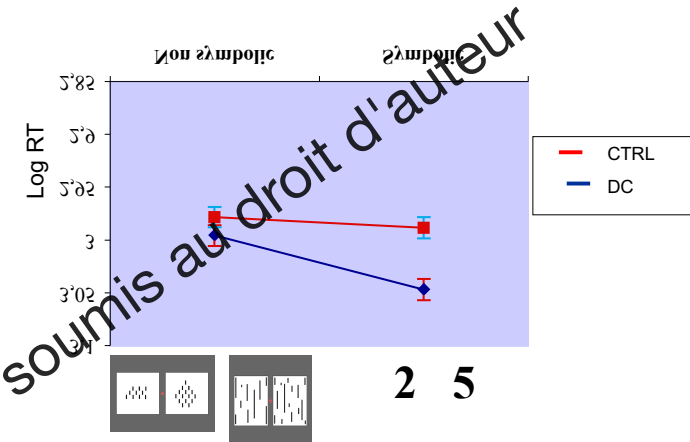
2 5

Rousselle & Noël, 2007, *Cognition*

comparaison de collections



=> Pas de déficit de l'ANS

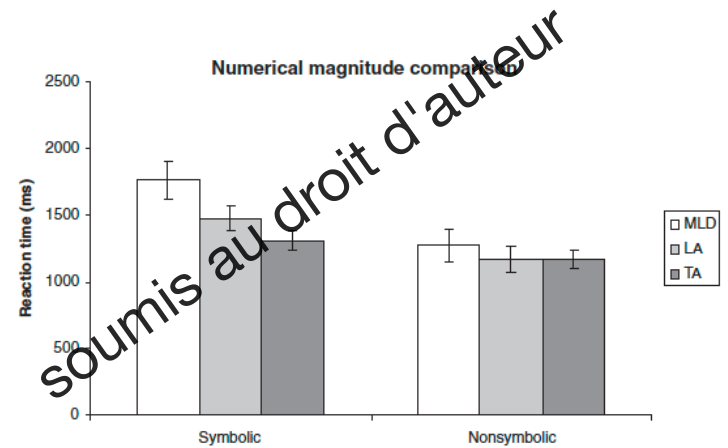


=> Difficulté seulement qd doivent traiter des chiffres

Résultats répliqués

- 41 enfants contrôles de 1ère année (TA)
- 21 enfants faibles en math (pc 16-25: LA)
- 20 enfants avec déficit en math (< pc 16: MLD)
- Deux tâches de comparaison de magnitude
 - chiffres (1 à 9)
 - collections

De Smedt & Gilmore, 2011, JECp



Relevé des études

	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		
Price & Ansari (2007)	12 ans		

Relevé des études

	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	
Price & Ansari (2007)	12 ans	-	

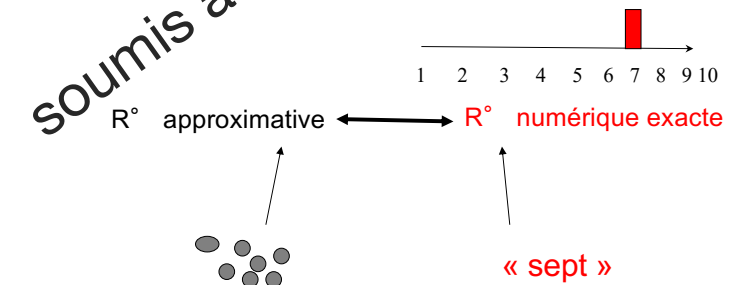
Relevé des études

	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, Malas & Noel (2010)	10-11 ans	DC<C	DC<C
Price & Ansari (2007)	12 ans	-	DC<C

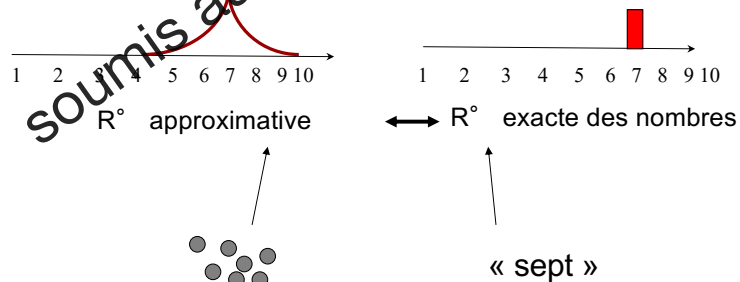
- Les 1ers déficits ne sont pas observés dans les tâches non-symboliques
 - Pas dus à un déficit de l'ANS
- Les 1ers déficits sont observés dans les tâches symboliques

Une hypothèse développementale de la dyscalculie

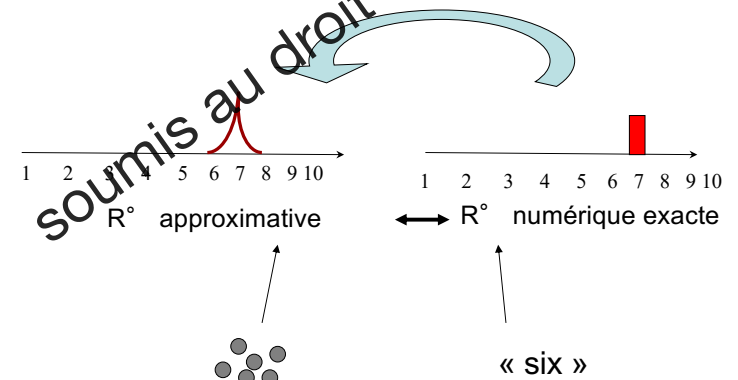
- Les 1ers déficits sont observés dans les tâches symboliques
 - Dues à une difficulté à créer ou traiter une R° numérique exacte



- Plus tard, des déficits sont également observés en non-symboliques
 - H: ces déficits sont secondaire à la diff initiales de R° exacte



- H: connecter la R° numérique exacte avec la R° approximative permet de développer l'acuité de ce système
- Si déficit au niveau de la R° numérique exacte, alors retard dans le développement de l'acuité de la R° approximative



bases neurofonctionnelles

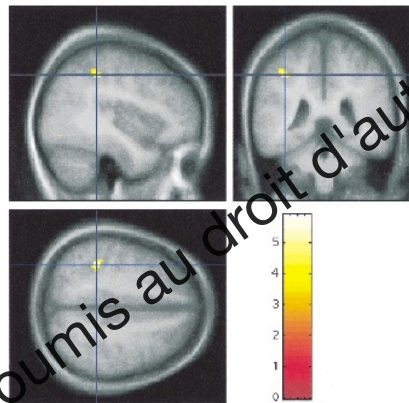


Bases neuroanatomiques

- 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

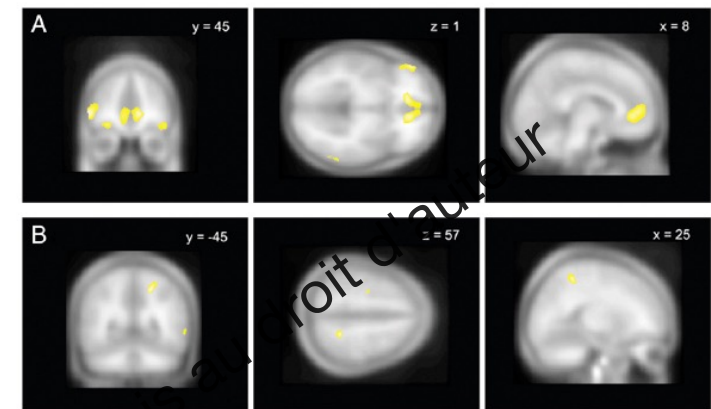


Isaacs, Edmonds, Lucas & Badian (2001)



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

Isaacs, Edmonds, Lucas & Badian (2001)



2 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

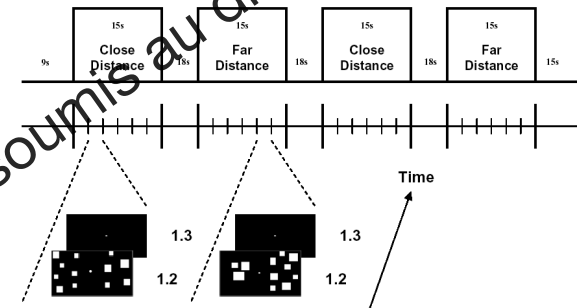


Bases neurofonctionnelles



X

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



(Price et al. , 2007- Current Biology)

X

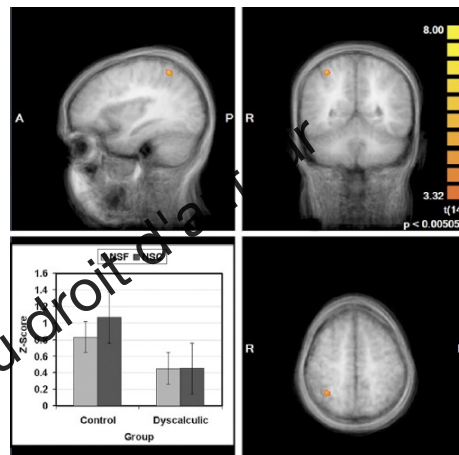


Figure 1. Interaction of group X distance in the right intraparietal sulcus.

- 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)

X

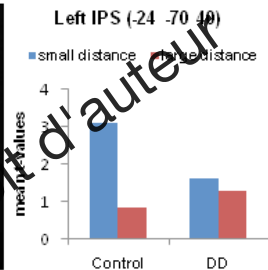
- 15 enfants DD (10 ans), 18 enfants contrôles

- 2 chiffres: choisir le plus grand
 - 5-6 (petite distance)
 - 2-7 (grande distance)

X

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

X

Conclusion

- Dyscalculie aussi fréquente que la dyslexie
- Trouble persistant
- Difficulté de construire et puis d'opérer sur la représentation exacte du nombre
- Corrélats neuroanatomiques et fonctionnels au niveau des sillons intra-pariétaux



X