

1

La dyscalculie développementale : un problème du sens du nombre

Marie-Pascale Noël

Université Catholique de Louvain
Belgique

Lille, Mars 2011

X

2

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

X

3

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



X

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 4 : 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.

X

5

Prévalence

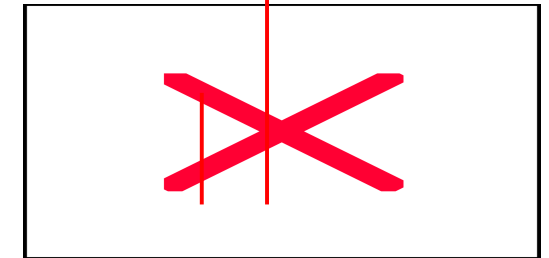
- Barbaresi (2005): 5718 enfants de 6 à 19 ans
 - > 5,9 % de dyscalculie (score en math < QI)
 - 43% d'entre eux sont également dyslexiques
 - Ratio garçon:filles = 2:1
 - 50% d'entre eux n'ont pas été détectés à l'école
- « cumulative incidence of dyscalculia » : Risque attendu d'être diagnostiqué dyscalculique à un âge spécifique
 - Jusque 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



6

Difficultés persistantes

- Gross-Tsur, Manor & Shalev (1996): 3029 enfants israéliens, 10 ans
 - 6,5 % (< moyenne des enfants 2 ans plus jeunes > 80)
 - 1,1:1 filles:garçons
- Suivi de 3 ans des 123 enfants DC (Shalev & al. 1998, J. Pediatr)
 - 47% des cas < pc 5
 - 48% des cas: entre pc 5 - pc 25
- Suivi de 6 ans (Shalev & al. 2005, Dvptal Med & Child Neurolol).
 - 40 % : score < pc 5 - test standardisé
 - 55% : score entre pc 5 et pc 25



7

Gold standard

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

... Un déficit du sens du nombre ?



8

Les capacités de discrimination numérique des bébés



Soumis à droit d'auteur

Soumis à droit d'auteur

11

Chez le bébé: discrimination numérique

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)

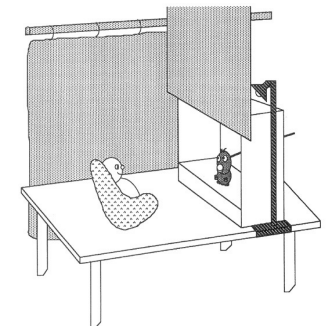
X

12

Discrimination numérique

Non limitée aux objets

- Sons: longueur syllabique (Bijeljac-Babic et al, 94)
- Actions: 2 vs 3 sauts d'une poutre (6 mois; Wynn, 96)



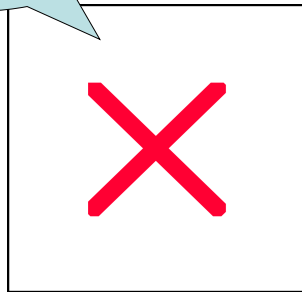
X

13

Système d'individuation parallèle: modèles mentaux en MCT

- Correspondance terme à terme
- Mais capacité limitée (3-4 maximum)

[objet], [objet], [objet]

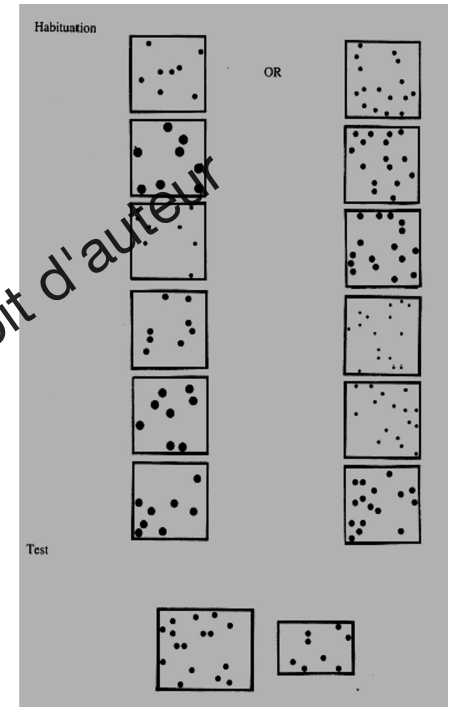


X

14

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



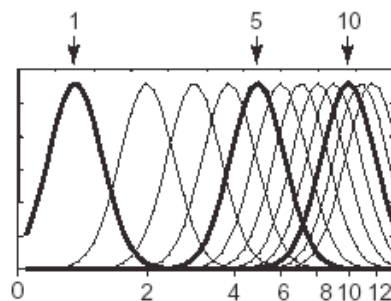
X

15

Représentation approximative du sens du nombre (ANS: approximate number sense)

- Système approximatif de représentation de la quantité,
 - Obéit à la loi de Weber: est sensible au rapport entre les quantités

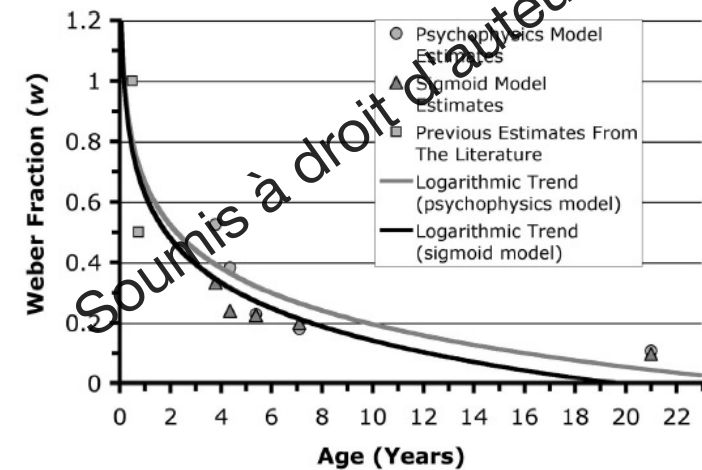
(b) Logarithmic model with fixed variability



X

16

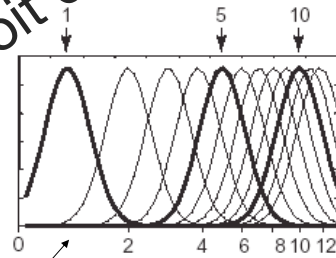
- acuité de l'ANS augmente au cours du développement



X

- Autour des 2,5 - 3 ans
 - ▶ Apprentissage de la suite numérique verbale
 - ▶ Compréhension de la signification de ces mots par mise en correspondance avec l'ANS

(b) Logarithmic model with fixed variability

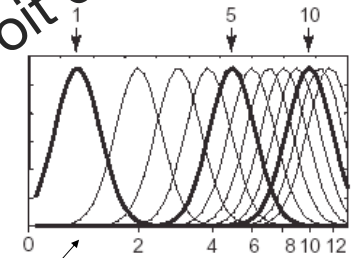


Un, deux, trois, quatre, cinq

Gallistel & Gelman, 1992

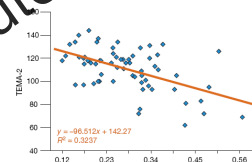
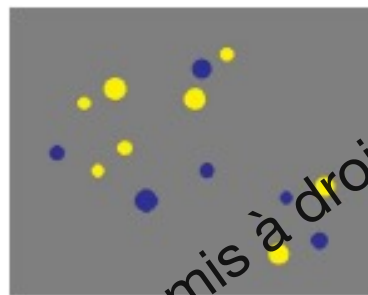
- Les apprentissages mathématiques se baseaient sur cette représentation ANS

(b) Logarithmic model with fixed variability



Un, deux, trois, quatre, cinq

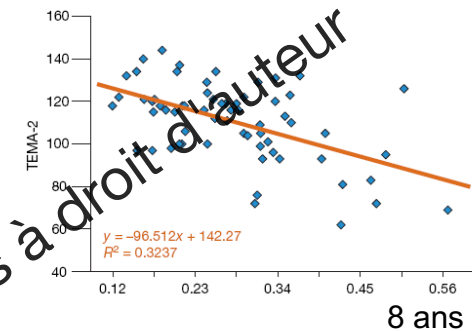
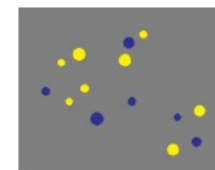
Dans des populations tout venant



- 64 adolescents de 14 ans
- Mesure de l'acuité de l'ANS corrèle avec les performances scolaires antérieures en mathématique

Halberda, Mazocco & Feigenson (2008)

Dans des populations tout venant



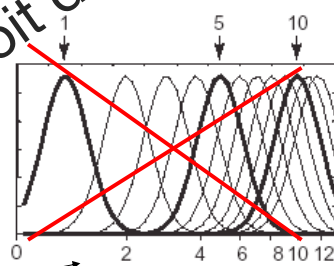
- 64 adolescents de 14 ans
- Mesure de l'acuité de l'ANS corrèle avec les performances scolaires antérieures en mathématique

Halberda, Mazocco & Feigenson (2008)

Dyscalculie développementale

- Un déficit de l'ANS
 - Difficulté pour apprendre le sens des symboles numériques
 - Difficulté dans les apprentissages mathématiques

(b) Logarithmic model with fixed variability



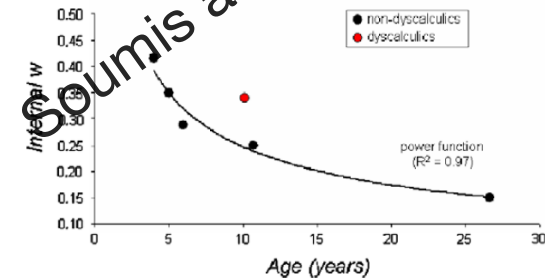
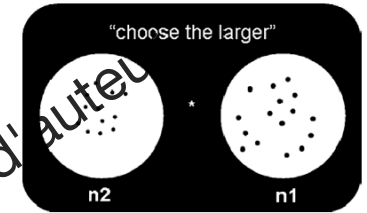
Un, deux, trois, quatre, cinq, six, sept

X

Acuité numérique réduite

Population

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

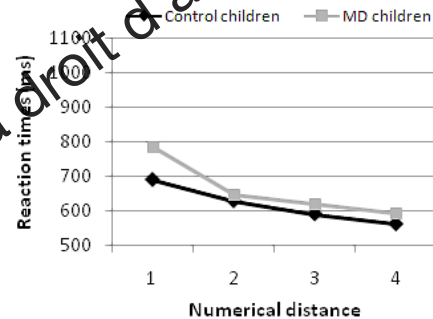


Piazza, M., Facoetti, A., & al, *Cognition*, 2010

X

- 15 enfants en difficulté math (10-11 ans), < pc 15 dans X°
- 15 contrôles (10-11 ans)
- Lecture et QI normaux

Patterns de points aléatoires



Mussolin, Mejias & Noël, 2010, *Cognition*

X

Mais

Soumis à droit d'auteur

X

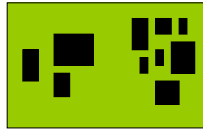
Dans des populations tout venant

- Enfants de 6 ans, 7 ans, 8 ans

Tâches

- ▶ Comparaison de magnitude
 - de 2 chiffres (1 à 9) ou
 - de 2 collections (1 à 9 items)
- ▶ Test de performance en math
 - Woodcock Johnson Math
 - Fluence math (+, -, x in 3')

3 - 7

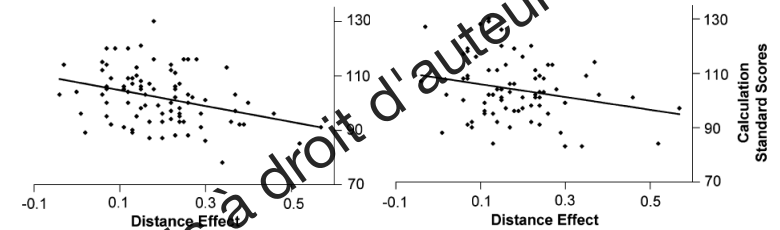


Holloway & Ansari, 2009, JECP

Chiffres:

corrèle avec le score de calcul ($r(85) = -.222^*$)
et le score de fluence math ($r(86) = -.339^{**}$)

3 - 7



Collections

Corr. ns avec le score de calcul ($r(85) = -.07$)
ou la fluence en math ($r(86) = .037$)



Dans la dyscalculie

Population

- ▶ 45 enfants DC (7 ans) (<pc 15 ds test de traitement numérique et calcul)
- ▶ 45 enfants contrôles (7 ans)

Tâches

- ▶ Non symbolique

symbolique



condition facile



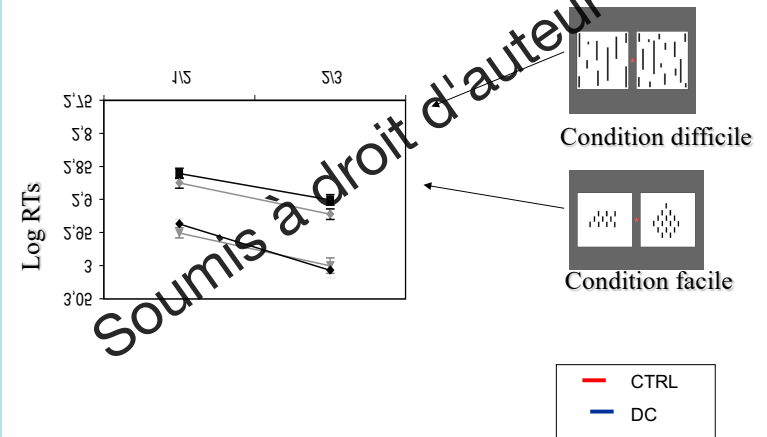
Condition difficile

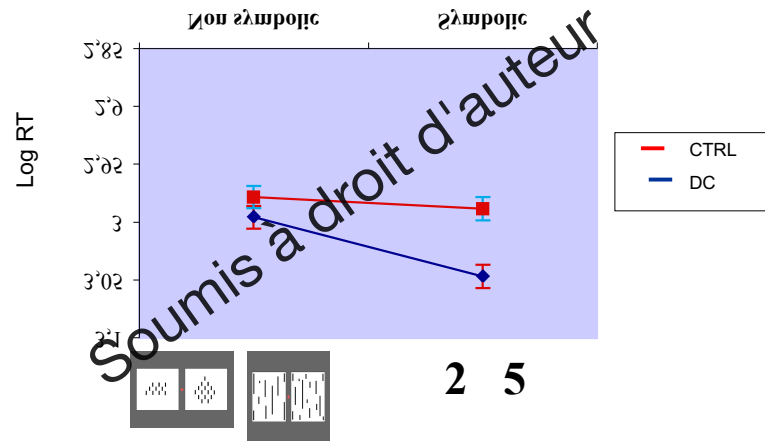
2 5



Rousselle & Noël, 2007, Cognition

comparaison de collections





- Enfants de 1ère année (CP)
 - Difficultés en math (<pc 16)
 - Faible en math (entre pc 16 et pc 25)
 - Contrôles (> pc 35)
- Comparaisons de 1 à 9:
 - chiffres ou collections
- Additions approximatives
 - Symboliques (chiffres)
 - Non-symboliques (collections)
 - Nombres de 5 à 58 et somme diffère de la cible de comparaison par un rapport de 4:7, 4:6 ou 4:5



De Smedt & Gilmore (2011), *Cognition*

Addition approximative

- Symbolique
 - Tommy a cinq bonbons
 - Et il en reçoit encore cinq
 - Smogg à 20 bonbons
 - Qui a le plus ?



5

5

20



"Sarah has 21 candies."

"She gets 30 more."

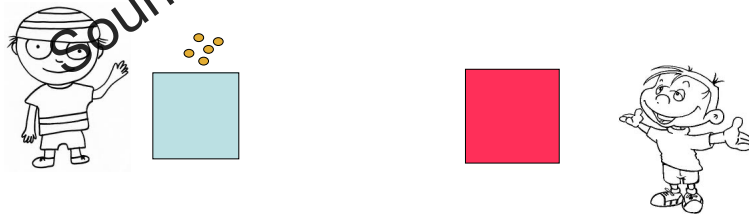
"John has 34 candies. Who has more?"



Addition approximative

- Non-symbolique

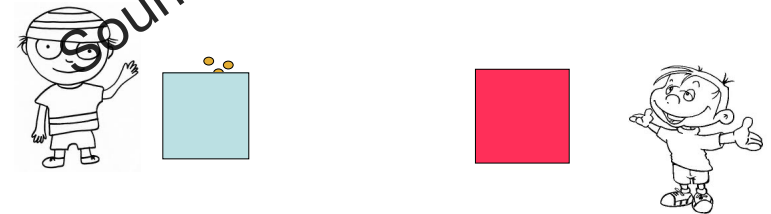
- ▶ Tommy a des bonbons et il les met dans la boîte
- ▶ Et il en reçoit encore d'autres et les met dans la boîte
- ▶ Smogg à aussi des bonbons
- ▶ Qui a le plus ?



Addition approximative

- Non-symbolique

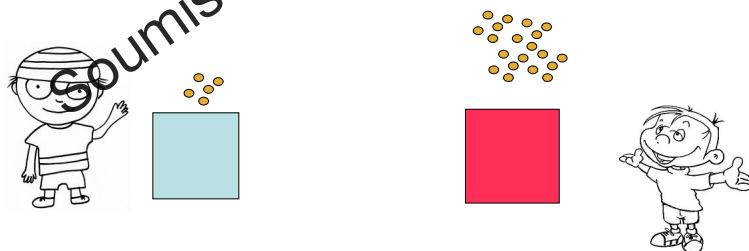
- ▶ Tommy a des bonbons et il les met dans la boîte
- ▶ Et il en reçoit encore d'autres et les met dans la boîte
- ▶ Smogg à aussi des bonbons
- ▶ Qui a le plus ?



Addition approximative

- Non-symbolique

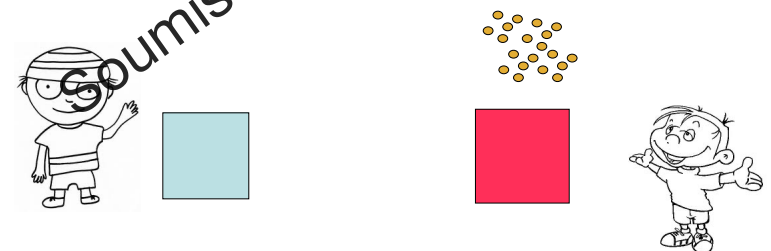
- ▶ Tommy a des bonbons et il les met dans la boîte
- ▶ Et il en reçoit encore d'autres et les met dans la boîte
- ▶ Smogg à aussi des bonbons
- ▶ Qui a le plus ?



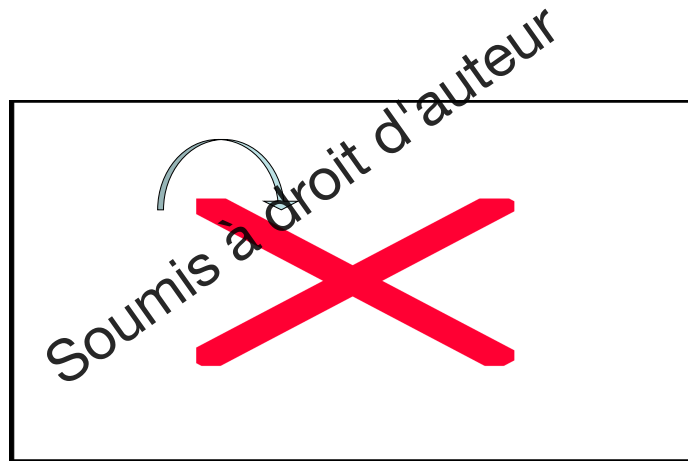
Addition approximative

- Non-symbolique

- ▶ Tommy a des bonbons et il les met dans la boîte
- ▶ Et il en reçoit encore d'autres et les met dans la boîte
- ▶ Smogg à aussi des bonbons
- ▶ Qui a le plus ?

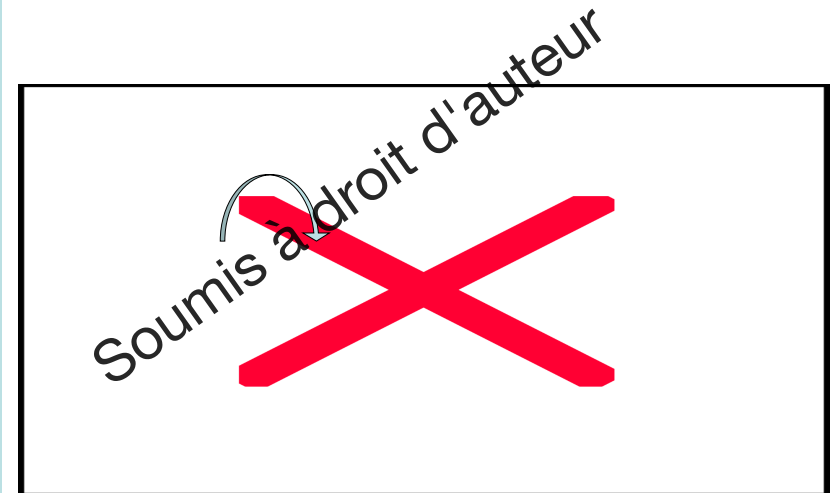


37

De Smedt & Gilmore (2011), *Cognition*

X

38

De Smedt & Gilmore (2011), *Cognition*

X

39

Comment concilier ces résultats ?

Soumis à droit d'auteur

X

40

Une interprétation développementale ?

	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, McJannet & Noel (2010)	10-11 ans		
Price & Ansari (2007)	12 ans		

X

Une interprétation développementale ?

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

X

Une interprétation développementale ?

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

X

Une interprétation développementale ?

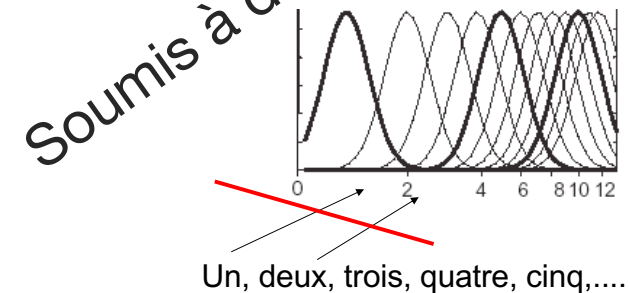
- Les premiers déficits ne sont pas observés dans les tâches non-symboliques
 - Pas dus à un déficit de l'ANS
- Les premiers déficits sont observés dans les tâches symboliques

⇒ Comment comprendre cela ?

⇒ Retour au développement du sens des mots nombres

X

- Autour des 2,5 - 3 ans
 - Apprentissage de la suite numérique verbale
 - Compréhension de la signification de ces mots
 - Signification précise ... Pas à peu près « sept »
 - Pas par simple mise en correspondance avec l'ANS**



X

- Autour de 3 ans

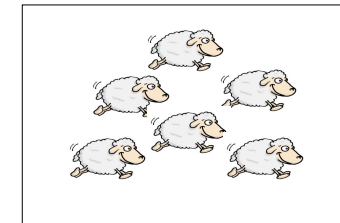
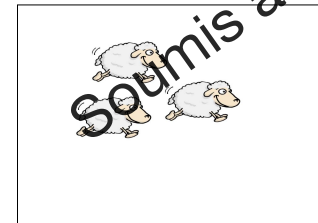
- ▶ Lent apprentissage séquentiel de la valeur cardinale des premiers mots
 - Un (± 36 mois), deux (± 6 mois plus tard), trois (± 3 mois plus tard) dans les tâches “donne-moi”
 - **subset knowers**
 - One-knowers
 - Two-knowers
 - Three-knowers



Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

Subset knowers: Mise en correspondance des mots nombres et de l'ANS

- Deux collections dans un rapport 1/2 (e.x., 3-6, 10-5)
- “peux-tu me montrer où il y a six moutons ?”



Condry & Spelke, 2008 JEP:G

- ▶ Mots de cardinalité connue: 86% rc
- ▶ Mots de la chaîne mais de cardinalité inconnue: 49% rc (hasard)

⇒ Subset knowers

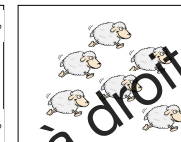
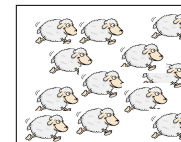
- ⇒ Mots dont la valeur cardinale est connue sont mis en correspondance avec l'ANS
- ⇒ Mots de la chaîne mais dont la valeur cardinale est inconnue ne sont pas mis en correspondance avec l'ANS, même pas de manière approximative de ces mots



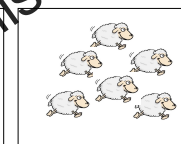
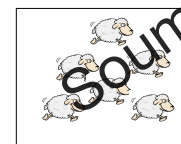
Condry & Spelke, 2008 JEP:G

Subset knowers: Transformations qui conduisent ou non à un changement de label numérique

- “sur ce plateau, il y a six moutons”



- ▶ Pas de changement
- ▶ réarrangement des objets



- ▶ Doublement de la collection
- ▶ Réduction de moitié



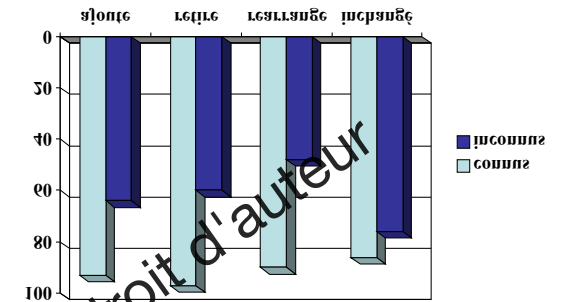
Peux-tu me montrer où il y a six moutons ?

Condry & Spelke, 2008 JEP:G

- 2 types de mots
 - Cardinalité connue
 - Cardinalité non connue mais appartient à la suite du comptage de l'enfant



Condry & Spelke, 2008 JEP:G



- Réponses correctes pour "inchangé"
- Réponses correctes pour mots connus
- Réponses aléatoires pour mots de la liste inconnus

Subset knowers ne distinguent pas les transformations qui affectent ou non l'utilisation des mots nombre de cardinalité inconnue



Condry & Spelke, 2008 JEP:G

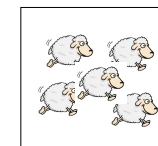
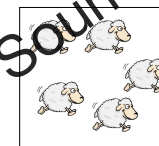
- Autour de 3 ans
 - Lent apprentissage séquentiel de la valeur cardinale des premiers mots
 - Un (± 36 mois), deux (± 6 mois plus tard), trois (± 3 mois plus tard) dans les tâches "donne-moi"
 - **subset knowers**
 - Comprend le principe du comptage et peut donner n'importe quel nombre d'items pourvu que le nombre verbal appartienne à la liste du comptage de l'enfant
 - **CP knowers**



Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

La fonction de succession: direction

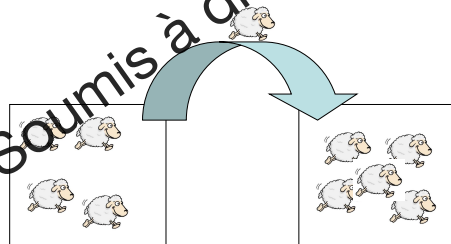
- N items placés dans chaque plateau,
 - E.g., *regardes, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là*
- E déplace un mouton d'un plateau à l'autre
- *Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6, montre-moi le plateau avec six*



Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

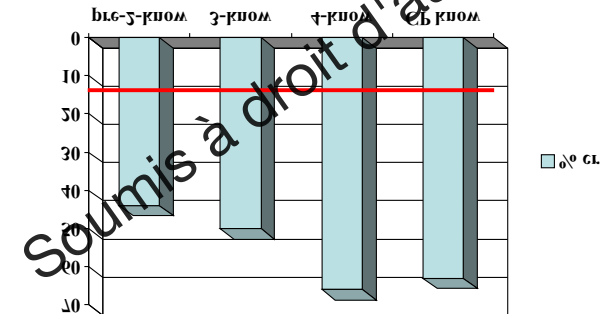
La fonction de succession: direction

- N items placés dans chaque plateau,
 - E.g., *regardez, il y a 5 moutons ici et 5 moutons là*
- E déplace un mouton d'un plateau à l'autre
- *Maintenant, il y a un plateau avec 4 moutons et un plateau avec 6, montre-moi le plateau avec six*



Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

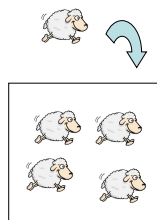
La fonction de succession: direction



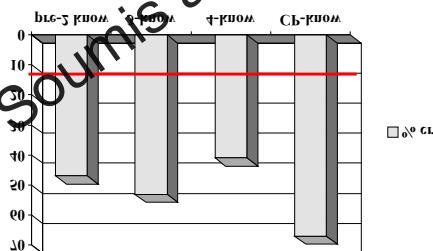
Sarnecka & Carey, Cognition, 2008

La fonction de succession: unité de changement

- 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

Mise en correspondance des mots nombres et de l'ANS chez subset et CP knowers

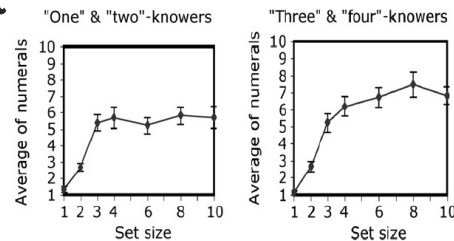
- 116 enfants de 3 à 5 ans
- Tous capables de compter correctement 10 items
- Tâche "donne-moi"
 - 42 **Subset knowers**
 - 6 connaissent la valeur # de "un"
 - 14 connaissent la valeur # de "un" et de "deux"
 - 18 connaissent la valeur # de "un", "deux", "trois"
 - 4 connaissent la valeur # de "un", "deux", "trois", "quatre"

- **CP knowers**



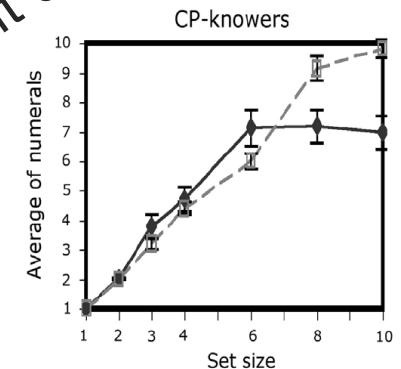
Le Corre & Carey, 2007, Cognition

- 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*

- CP knowers, deux groupes apparaissent:
 - Courbe plate pour les plus grands nombres : **CP knowers non-mappers**
 - Courbe croissante pour toutes les tailles de collection: **CP knowers mappers**



Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

Résumé des étapes développementales

- Acquisition de la liste de comptage
- Acquisition lente et séquentielle de la valeur cardinale de un, puis de deux, puis de trois, puis de quatre : **subset knowers**
 - Mise en correspondance des mots connus avec l'ANS
- Compréhension de la fonction de succession et application du comptage pour déterminer la valeur cardinale de chaque mot nombre de la liste de comptage: **counting principle knowers**
- ± 6 mois plus tard : mapping de tous les nombres mots de la liste du comptage à l'ANS: **CP mappers**



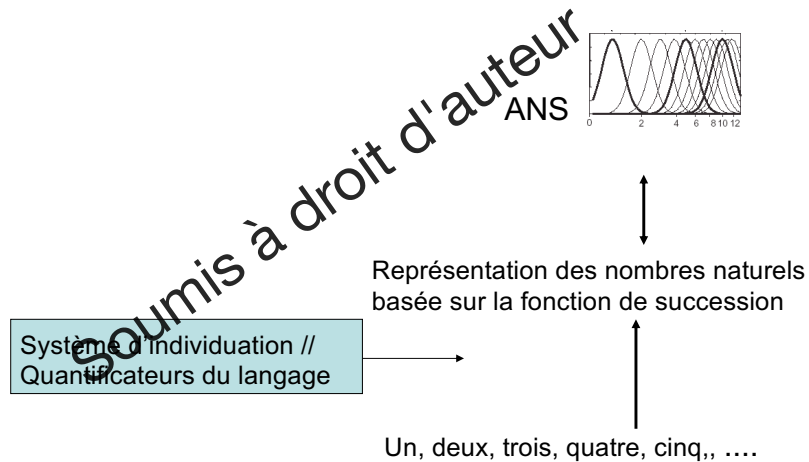
Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

- $\Rightarrow$ la compréhension des principes de comptage et de la valeur exacte des mots nombres précède la mise en correspondance des mots nombres avec l'ANS
- $\Rightarrow$ la valeur cardinale des mots nombres ne se développe pas par mise en correspondance avec l'ANS
- Pour les mots de "un" à "quatre"
 - Utilisation des systèmes d'individuation
 - Quantificateur du langage (singulier, plusieurs, un peu, beaucoup,)
- La compréhension de la valeur cardinale des premiers mots nombres conduit à découvrir la fonction de succession
 - Compréhension de la valeur cardinale des mots nombres de la liste
 - Création d'une représentation numérique exacte basée sur la fonction de succession +1
- Mise en correspondance des mots nombres avec l'ANS

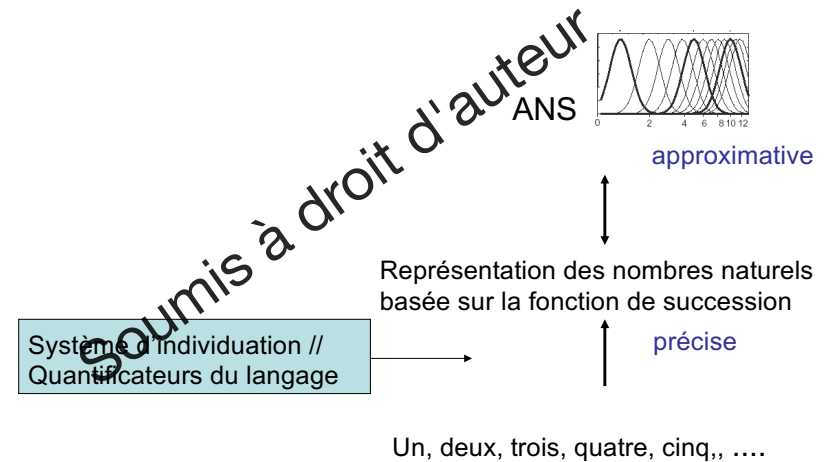


Le Corre & Carey, 2007, *Cognition*

- Un modèle développemental



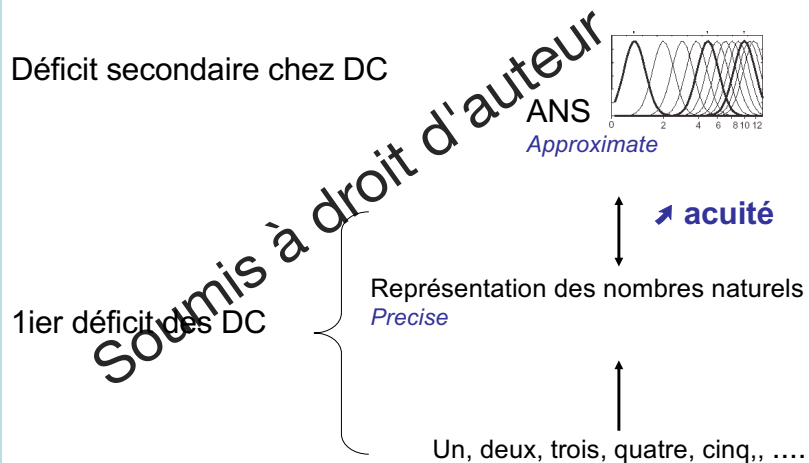
- Un modèle développemental



- Un modèle développemental

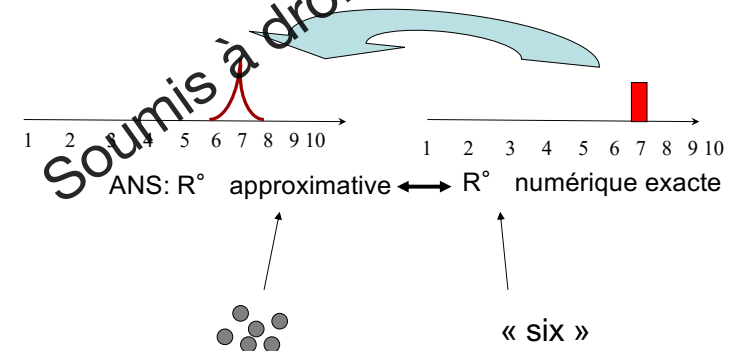
Déficit secondaire chez DC

1ier déficit des DC



- Premier déficit dans les tâches symboliques
- Plus tard: déficit dans les tâches non-symboliques également

- ▶ Hypothèse: connecter les R° numériques exactes à l'ANS => augmentation de son acuité
- ▶ Ce processus serait retardé chez les enfants DC car difficultés dans les traitements numériques exacts symboliques
- ▶ => observation de $\neq$ d'acuité numérique entre DC et contrôles



- 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
- Attention, une hétérogénéité est possible

Merci de votre attention !

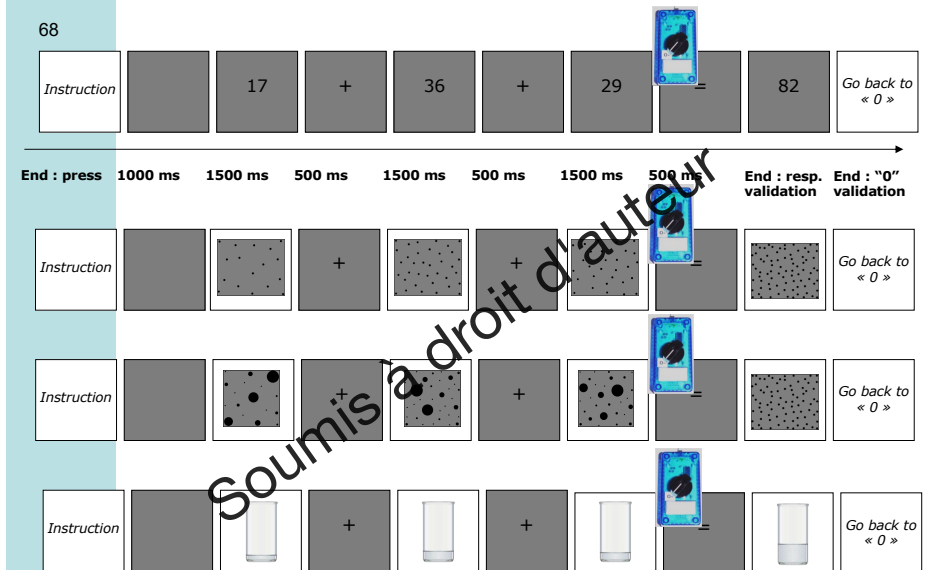


Soumis à droit d'auteur

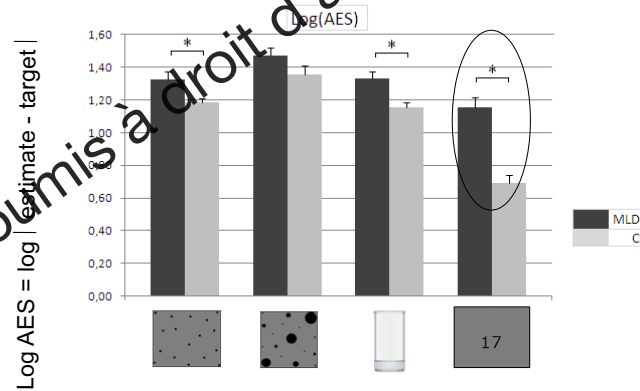


What is the fate of DC children ?

- DC: math learning disability
 - Many difficulties in exact calculation
 - Quid in approximate calculation ?



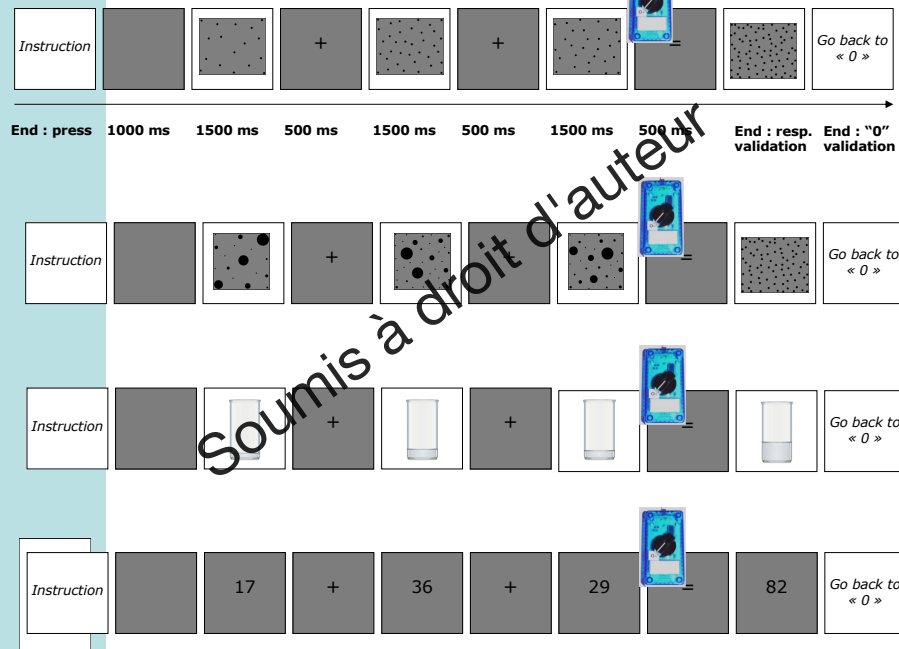
- 19 DC (10-11 ans)
 - < pc 15 in arith fluency (+,-,x)
 - < pc 15 Simonart
 - Teacher: some or severe math diff
- 19 controls (10-11 ans)
- Normal reading and IQ



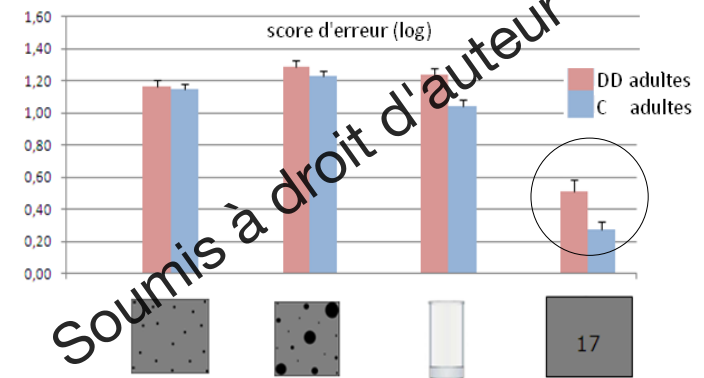
Mejias & Noel, submitted

The fate of dyscalculics

- 17 adults who were DC (25 ± 10 ans)
- 17 adults control, same age, same studies or profession
 - Global math battery
 - Error rates: DC (20 ± 11) > CTR (6 ± 5): $t(32)=4.95^{**}$
 - RT: DC (1235 ± 370 s) > CTR (755 ± 284 s): $t(32)=4.24^{**}$

Mejias, Gregoire & Noël, *submitted*

Log AES = log | estimate - target |



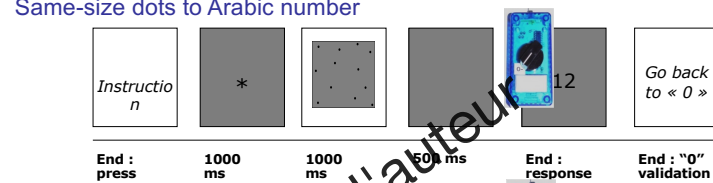
In conclusion

- The ANS deficit seen in dyscalculics
 - is secondary
 - Might even be temporarily
- However, heterogeneity is expected

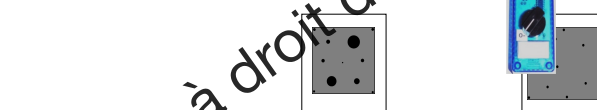
Soumis à droit d'auteur



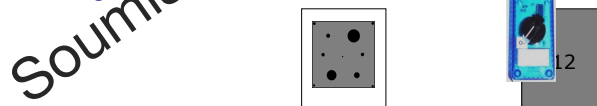
Same-size dots to Arabic number



Heterogeneous-size dots to same-size dots



Heterogeneous-size dots to Arabic numbers



Arabic numbers to same-size dots

