



## Des difficultés en calcul à la (ou aux) dyscalculie(s)

*Michel Fayol (2012). L'acquisition du nombre. QSJ*

**Michel Fayol**

Université Blaise Pascal & CNRS

[Michel.fayol@univ-bpclermont.fr](mailto:Michel.fayol@univ-bpclermont.fr)

Automne 2012

1

## Des difficultés aux troubles

- Tout le monde **apprend**;
- Tout le monde rencontre des **difficultés**...et les **surmonte** le plus souvent;
- **Quelquefois**, les difficultés sont mal surmontées, voire pas du tout; on parle de **troubles** de l'apprentissage;
- Différents des troubles du développement : **les apprentissages (scolaires) relèvent de la culture**;

Automne 2012

2

## Dyscalculie: définition et caractéristiques

- Trouble des **compétences numériques** et des **habiletés arithmétiques** qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficit neurologique acquis;
- **DSM IV : Les performances arithmétiques**
  - Sont **inférieures au niveau escompté compte tenu de l'âge, de l'intelligence et de l'enseignement reçu** par l'individu;
  - **Interfèrent** de manière significative avec les activités de la vie courante ou la réussite scolaire;
  - Ne sont pas consécutives à un déficit sensoriel;

Automne 2012

3

## Une question essentielle

Le statut cognitif des troubles du calcul

Automne 2012

4

## Les troubles sont-ils....

SECONDAIRES

PRIMAIRES

Atteinte d'une capacité **générale** impliquée aussi dans les activités numériques: mémoire, attention, langage

Atteinte sous-jacente **spécifique** des capacités numériques

Performances arithmétiques anormalement faibles

Automne 2012

5

## D' où

- Une grande **diversité** de difficultés et de troubles;
- Fin d'une perspective uniciste homogène (bon vs faible en maths) (voir Piaget par exemple);
- Perspective considérant **DES difficultés** et **DES troubles** divers, non reliés entre eux (*Dowker et al., 2010; Namkung et al., 2012*);
- Problème des **trajectoires** (*Mazzocco, 2007*);

Automne 2012

6

## Prévalence et co-morbidity

Des données discutables

(*Inserm, 2007*)

Automne 2012

7

## Prévalence et co-morbidity

- Beaucoup d'enfants diagnostiqués comme présentant un trouble du calcul présentent **aussi d'autres troubles**
- 50 à 60% présentent aussi des troubles de la **lecture**; (*Boets et al., 2010*);
- 25% auraient aussi des troubles de l'**attention**;
- Troubles **visuo-spatiaux**;
- Faibles capacités en **mémoire de travail** (*Andersson & Lyxell, 2007; Kaufmann et al., 2002; Wilson & Swanson, 2001*);

Automne 2012

8

## Prévalence et co-morbidité

- **Les grandes études** : Kosc, 1974; Badian, 1983; Lewis et al., 1994; Gross-Tsur et al., 1996; Desoete et al., 2004;
- Beaucoup d'enfants diagnostiqués comme présentant un trouble du calcul présentent **aussi d'autres troubles** :
  - 50 à 60% présentent aussi des troubles de la **lecture**;
  - 25% auraient aussi des troubles de l'**attention**;
  - Troubles **visuo-spatiaux**, mémoire de travail...
- **Les troubles isolés de l'arithmétique** concerneraient entre 3 et 4% de la population. Dans l'étude de *Lewis et al. (1994)*, seuls **1,3 % des 1056 enfants** étudiés présentent un trouble isolé de l'arithmétique avec des capacités intellectuelles normales; accord avec *Fischer (2010)*;
- Trouble sans doute moins fréquent que la dyslexie et moins clairement défini;

## Études génétiques, neurodéveloppementales et neuropsychologiques

Des données dont le nombre augmente

## Un ensemble de syndromes

- **Syndrome de Turner** affecte les filles, absence totale ou partielle de l'un ou des deux chromosomes X; faiblesse générale en mathématiques; pas de compréhension de quantité ni chiffres; plus lents et faibles dans opé complexes (*Mazzocco, 2009*);
- **Syndrome de Williams**, anomalie du chromosome 7; déficits en mathématiques; évolution complexe; adultes faibles aux épreuves pré-verbales (*Hearn et al., 2009*);
- **Syndrome de DiGeorge ou Velocardiofacial** microdélétion de 30 à 40 gènes de la région 11.2 du chromosome 22; troubles des procédures et de résolution de problèmes; trouble de représentation des quantités; pas de difficultés avec faits (*De Smedt et al., 2009*);

## Un ensemble de syndromes

- **Spina bifida myelomeningocele (SBM)**: trouble congénital; malformations du cerveau et de la moelle épinière; faiblesses en estimation, chiffres, comptage, résolution de problèmes; (*Barnes et al., 2006; Barnes et al., 2002; English, 2009*);
- **Syndrome de Gerstmann**: agnosie digitale, dyscalculie, une dysgraphie, confusion droite gauche; liaison entre représentations des doigts et représentations numériques; (*Gerstmann, 1940; Fayol et al., 1998*);
- **Grande prématurité** : corrélats neurales de difficultés mathématiques (manque de matière grise) (*Isaacs et al., 2001*);
- **Syndrome de Down** : performances plus lentes mais trajectoires identiques à celles des tout-venant (*Herrera et al., 2011*); faiblesses en langage;
- **Dissociation entre performances langagières et performances visuo-spatiales ou visuo-constructives**;

## La nature des troubles

Grande diversité conduisant à considérer le caractère hétérogène

## Des instruments d'évaluation

- Une épreuve générale (WISC; K-ABC.);
- Des épreuves spécifiques permettant tous un diagnostic précis des **performances** :
  - UDN 2 (*Meljac et al. 1999*);
  - Numerical (*Gaillard, 2000*);
  - Tedi-Math (*Grégoire et al., 2001*);
  - Zareki (*Dellatolas et al., 2007*);

## Manifestations

- Le **sens du nombre** (des quantités);
- Difficultés relatives aux **principes du dénombrement** des collections;
- Recours à des **procédures primitives** (immatures) de résolution des **opérations**;
- Absence ou faiblesse de **mémorisation des faits arithmétiques** (e.g.  $3 \times 2 \rightarrow 6$ );
- **Autres difficultés**: algorithmes de calcul, transcodage (verbal  $\rightarrow$  chiffres arabes, et réciproquement), **disposition spatiale** des opérations complexes;

## Un modèle intégrateur?

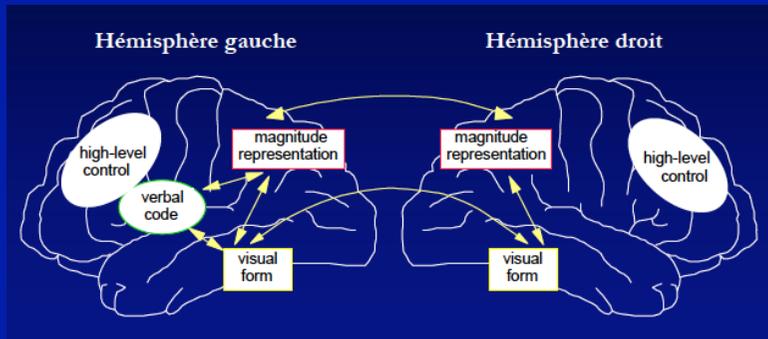
Le modèle du triple code

Modèle inspiré des troubles acquis

*Dehaene; McCloskey; Butterworth; Deloche & Seron*

**Critiques** : *Berch, 2005; Bzulfka, 2000; Kaufmann, 2008*

## Modèle du triple code



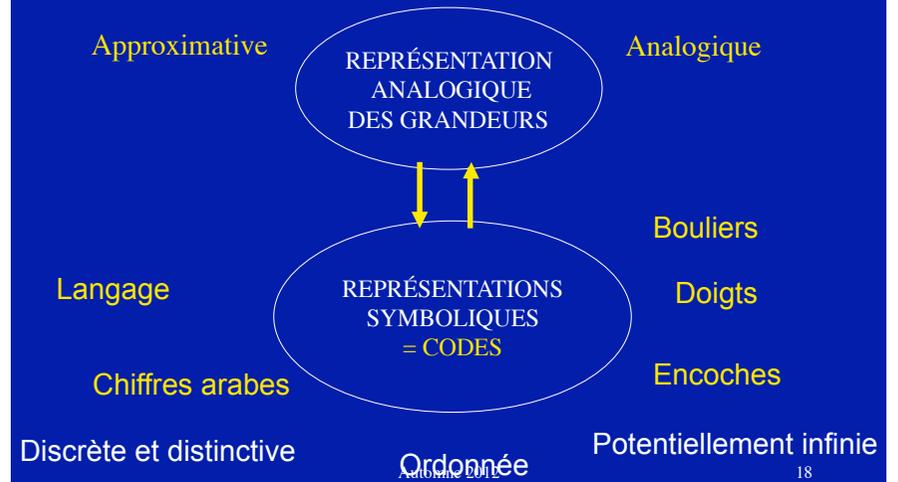
*Dehaene, 1992, 1995 revue 2009*

Automne 2012

17

## Représentation analogique et représentation symbolique

Problème des modèles adultes *Bzuffka et al., 2000*



18

## Le sens du nombre

La représentation analogique des grandeurs

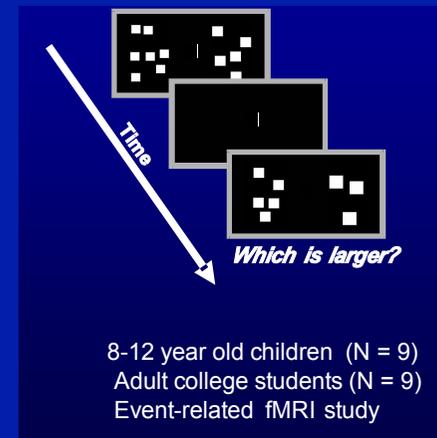
Aperception intuitive des grandeurs  
ou quantités.

Effet de distance;

Automne 2012

19

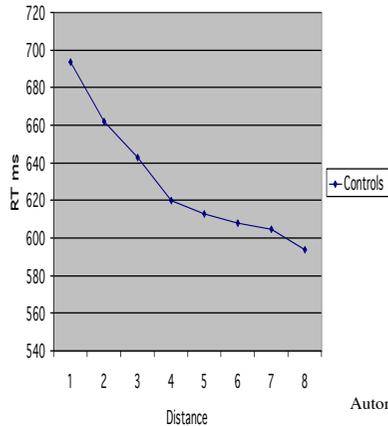
## Comparaison de quantités non symboliques



*Ansari & Dhital, 2006*

20

## Représentation préverbale Effet de distance



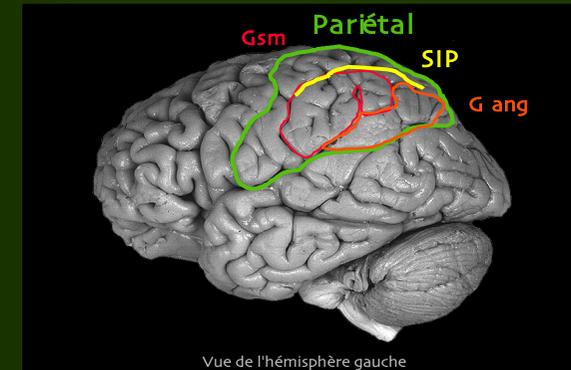
- Quelle que soit la modalité et quel que soit le format de présentation, aux **épreuves de comparaison**, les erreurs sont d'autant plus rares et les TR d'autant plus rapides que les distances entre items sont importantes. Vrai même quand pas de numération verbale (Pica et al., 2004; Gordon, 2004)

Automne 2012

21

## Localisation cérébrale

Introduction: Un "organe" numérique?



Vue de l'hémisphère gauche

Automne 2012

22

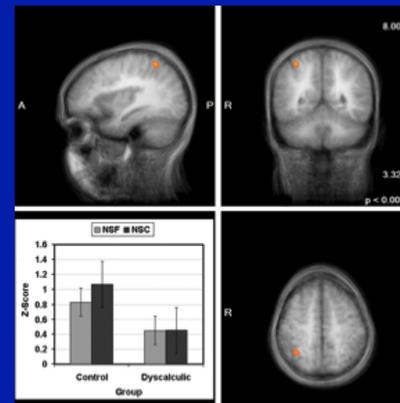
## Pour résumer

- Le traitement des quantités non symboliques active les **mêmes zones chez les adultes et les enfants**: SIP;
- **L'intensité varie** et évolue d'une manière encore à déterminer précisément;
- Tout se passe comme si s'effectuait un **transfert** d'activation des aires frontales vers les aires pariétales;

Automne 2012

23

## Dysfonctionnement du pariétal dans la dyscalculie développementale (DD)



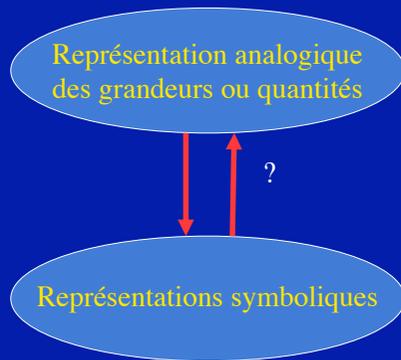
Dans une tâche de comparaison de quantités non symboliques (collections), les DD ne manifestent pas d'effet de distance (modulation de l'activation en fonction de la distance: 1-3 vs 5-8), ce que font les tout-venant.

Price et al., 2007

Automne 2012

24

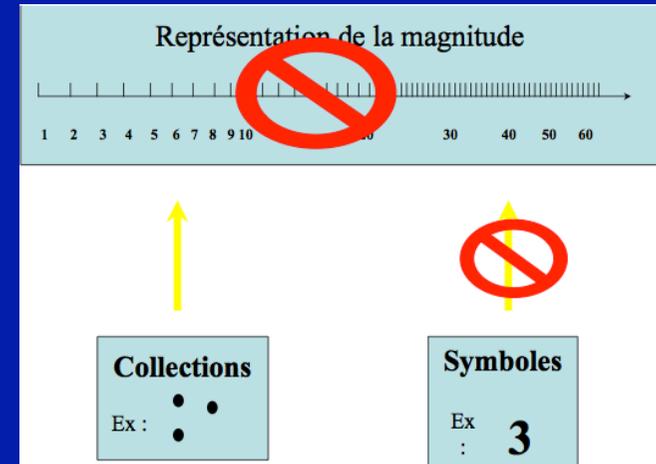
## Qu'est-ce qui est atteint?



Automne 2012

25

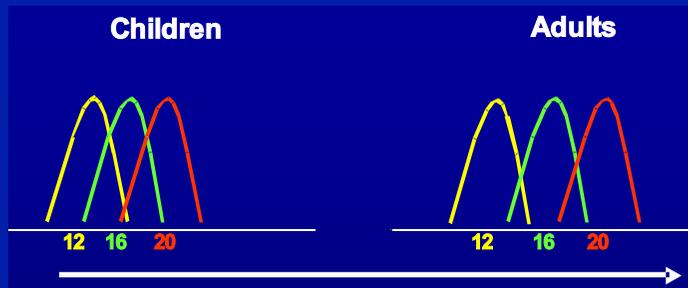
## Distinguer entre traitements analogiques et traitements symboliques



Automne 2012

26

## Une interprétation



La représentation des quantités serait plus floue (bruitée) chez les enfants que chez les adultes

Automne 2012

27

## Un exemple : enfants ADHD

*Kaufmann & Nuerk, 2008*

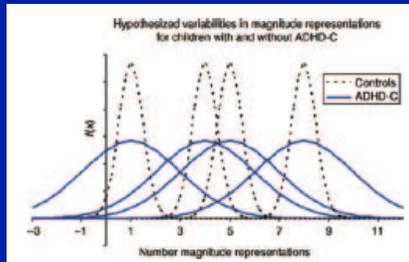
- Comparaison des performances de 16 ADHD-C (sans difficulté d'apprentissage) et de 16 contrôles appariés sur l'âge (10 ans) et le genre;
- Épreuves sur : 1) core-représentations non verbales : placement sur des lignes numériques (0-100) et comparaisons de nombres avec distances de 1 à 4 ; 2) représentations verbales : comptage (avant, rebours, par pas), transcoding, dénombrement de jetons ; 3) calculs simples ( $4+2$  ;  $4 \times 2$ ) ; 4) Calculs complexes (opérations à deux chiffres);
- Les deux groupes ne diffèrent que pour les core-représentations : ADHD plus lents, plus d'erreurs dans les comparaisons ; plus sensibles à l'effet de distance;

Automne 2012

28

## Un exemple : enfants ADHD

*Kaufmann & Nuerk, 2008*



Plus d'erreurs dans les comparaisons ; plus sensibles à l'effet de distance; ADHD pourraient avoir une plus grande variabilité dans l'accès aux quantités;  
Quelles interventions?

Automne 2012

29

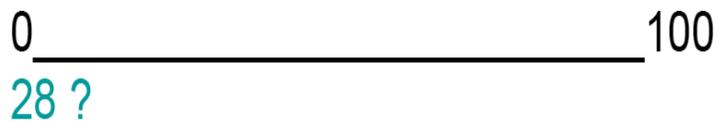
## Pour résumer

- Les troubles peuvent affecter :
  - La représentation analogique (effet de distance);
  - Les codes eux-mêmes (voir ci-après);
  - Les relations entre représentation analogique et symboles (flou des associations, lenteur des liaisons dans un sens ou les deux, effet d'interférences);

Automne 2012

30

## La ligne numérique comme outil d'évaluation de la représentation



Automne 2012

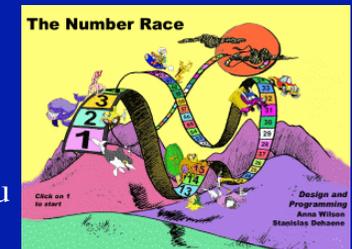
31

## Intervenir?

- Travailler avec des dispositifs de type « jeu de l'oie » ou « jeu de petits chevaux »;

*Ramani & Siegler, 2011*

*Wilson et al., 2009*



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

- Utiliser les doigts? (bouliers?);
- Estimateur (Vilette)
- Course aux nombres;

Automne 2012

32

## ANS et éducation

L' instruction (en arithmétique) a-t-elle un effet?

## L' instruction a-t-elle un effet?

- La WF des Munduruku adultes non scolarisés est .31 (le double de celle des Italiens adultes: .15); proche de celle des Italiens de 6 ans avant scolarisation (.29);
- La WF s' affine avec le niveau de scolarisation: les Munduruku scolarisés atteignent .19;
- Cet affinement ne vaut que pour les collections discrètes, pas pour les longueurs ou les surfaces (seule la dimension arithmétique est affectée; mais on n' a pas les détails);

## Difficultés relatives aux codes

Diverses et difficiles à délimiter

## Deux dimensions

- Pour tout code, il faut différencier:
- La forme matérielle, qui peut elle-même poser problème (par exemple, la forme des chiffres arabes);
- L' organisation du code et sa relation avec le signifié (notion ou concept);

## Le code oral

Différences de systèmes linguistiques influent sur vitesse et facilité d'apprentissage et d'utilisation de la suite verbale

Automne 2012

37

## Impact du langage oral

- Peu de données : retard d'acquisition de la suite des noms de nombres; *Cowan et al., 2005*; certains secteurs plus affectés que d'autres;
- Particulièrement sensible dans les langues occidentales?
- Difficultés accentuées en Français?
- Enfants avec TSL : la représentation analogique des grandeurs ne serait pas affectée, **ni l'emploi possible d'autres codes** (*Fazio, 1992, 1994, 1996*); voir recherches sur les Down;

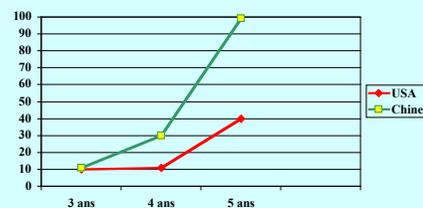
Automne 2012

38

## Caractéristiques de la représentation verbale Comparaison anglais, chinois, français

	Français	Anglais	Chinois
1	un, une	one	yi
2	deux	two	er
3	trois	three	san
10	dix	ten	shi
11	onze	eleven	shi yi
12	douze	twelve	shi er
13	treize	thirteen	shi san
20	vingt	twenty	er shi
21	vingt et un	twenty-one	er shi yi
22	vingt-deux	twenty-two	er shi er
23	vingt-trois	twenty-three	er shi san

Lenteur relative de l'apprentissage;  
Effets secondaires sur la capacité de mémoire à court terme;



Privilégier les autres codes?  
Notation arabe; utilisation des doigts; etc.

Automne 2012

39

## Le code indo-arabe

Différencier les caractéristiques matérielles du code de sa structure

Automne 2012

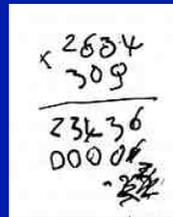
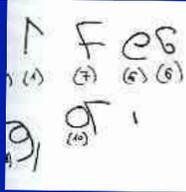
40

## Caractéristiques matérielles

- Code écrit;
- Implication des dimensions visuo-spatiales: troubles correspondants; orientation droite-gauche (< >; 14 vs 41; etc);
- Apprentissage de la forme graphique : inversions de 3, 5, 7 et 9 (Fisher, 2010) ;
- Alignement;

Mazeau, 1995

Automne 2012



## Propriétés du code indo-arabe

- Lexique restreint (10 éléments dont zéro);
- **Notation positionnelle** (la valeur dépend de la position: 1; 10; 100; 1000);
- Erreurs de position : 201 vs 210; importantes **difficultés en 2ème et 3ème primaires**;
- Problèmes de **transcodage oral -> écrit** : erreurs spécifiques en Français (6012 pour soixante douze; 42016 pour quatre vingt seize) (Seron & Fayol, 1994; Jarlegan et al., 1996); non transparence de la base dix;
- Utiliser longtemps du matériel pour manipuler en base 10;

Automne 2012

42

## Bilan de transcodage

Jarlegan et al. 1996

- Nombre présenté oralement (/trwa/-> Répétition;
- Nombre présenté oralement /trwa/ -> Transcription en écriture (trois)
- Nombre présenté oralement /trwa/ -> Transcription en chiffres arabes (3)
- Nombre présenté oralement -> Représentation sous format analogique ( ● ○ ○ )
- Nombre présenté sous format arabe (1012) -> Copie
- Nombre présenté sous format arabe (1012) -> Lecture
- Nombre présenté sous format arabe (1012) -> Transcodage en format écrit (Mille douze)
- Nombre présenté sous format arabe (1012) ->

Automne 2012

43

## Suggestions pour le transcodage

- Tester la **répétition** (ou le rappel écrit) des suites à transcoder;
- Améliorer éventuellement par **entraînement la répétition**, notamment pour les suites « ressemblantes »;
- Enseigner le transcodage Oral -> Arabe avec du **matériel base 10**; maintenir longtemps association entre manipulation et code;

Automne 2012

44

## Le dénombrement

Suite verbale, pointage moteur et coordination

Automne 2012

45

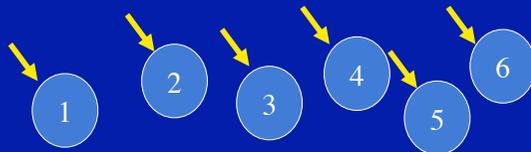
## Le dénombrement

- Coordination de la mise en œuvre de **deux composantes** :
  - Composante **motrice** (pointage, mouvements des yeux, etc);
  - Composante **symbolique** (noms de nombres, chiffres arabes, formes signées);
  - Possible coût de cette **coordination**, qui s'ajouterait aux coûts de chacune des deux composantes;
  - Quel impact chez les enfants TSL ou dyspraxiques?

Automne 2012

46

## Dénombrer : procédure canonique



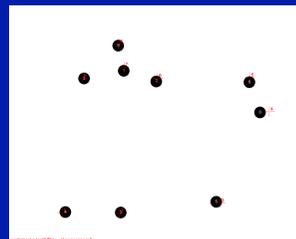
– Stricte **correspondance terme à terme** entre désignation des éléments et items servant à les désigner;

– **Ordre stable** des éléments servant à désigner;

– Le **dernier** élément énoncé fournit la cardinalité;

– Abstraction: aucun impact de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité;

– Non pertinence de l'ordre du traitement.



Enfants prématurés plus lents;  
Chazoule et al. 2012 in prep

47

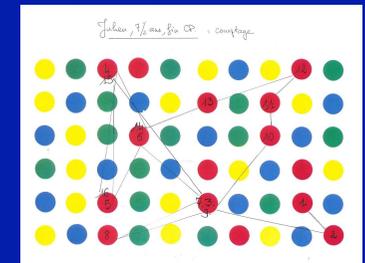
Landerl et al., 2004

Automne 2012

## Le dénombrement : diagnostic

- Différencier les erreurs de performances des troubles de la compétence;
- **Comparaison de performances dans trois conditions** : pointage de jetons sans dénombrement ; énonciation des noms de nombres; jugement du dénombrement (exact ou erroné) effectué par une marionnette;
- Enfants TSL, dyspraxiques et contrôles appariés sur l'âge;
- Camos, Fayol, Lacert, Bardi & Laquière, 1998

Difficultés d'attention:  
Julien, 7 ans : 16 au lieu de 15;



Automne 2012

## Opérations et faits arithmétiques Mémoire de travail

La MT presque toujours impliquée;  
très souvent affectée dans les échecs  
en mathématiques

Automne 2012

49

## Difficultés affectant les opérations

- **Stratégies immatures** de résolution des opérations (comptage sur les doigts, comptage verbal..);
- Beaucoup d'erreurs et durées longues;
- N' évoluent **pas** vers la **mise en mémoire** et la remémoration des faits arithmétiques ( $3 \times 2 \rightarrow 6$ );
- **Quelles difficultés?**
  - Difficultés d'**encodage**, liées par exemple à des ressources trop faibles en attention ou en mémoire (*Thevenot et al., 2011*);
  - Difficultés de **recupération**, consécutives aux interférences ;
  - Difficultés de **consolidation**, non ou peu étudiées jusqu' alors; dès qu' on cesse de pratiquer la remémoration devient difficile;

Automne 2012

50

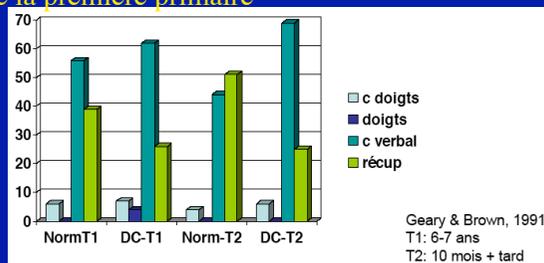
## Evolution des procédures de calcul

Diversité des procédures de résolution d'opérations simples

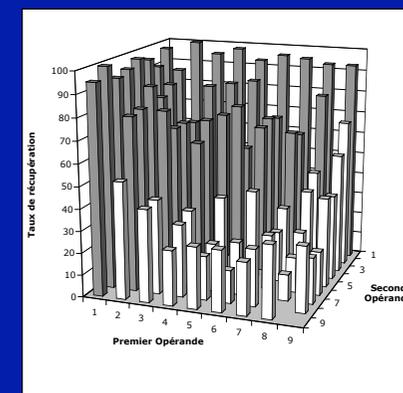
- Objets eux-mêmes; tout compter;
- **Substituts analogiques** des objets (doigts);
- **Compter mentalement**, en commençant par le premier fourni (3) puis par le plus grand (4) (min m,n) découverte de la **commutativité**;
- **Retrouver directement** en mémoire verbale le résultat d' une association ( $3 \text{ et } 4 \rightarrow 7$ );
- **Décomposer** le problème à résoudre

Évolution au cours de la première primaire

Norm = tout-venant  
DC : troubles du calcul



## Quels faits récupérons-nous en mémoire ?



Enfants de 9 et 10 ans  
**Utilisation de la récupération directe en mémoire** pour la résolution d' additions simples en fonction de la taille du premier et du second opérande.  
Les barres blanches correspondent aux résultats plus grands que 10.

*Barrouillet et Lépine (2005).*

Les faits récupérés sont principalement associés aux **calculs les plus simples et les plus fréquents**. Automne 2012

52

## Résolution des multiplications simples

### Encodage ou récupération

- Il faut se souvenir « spontanément »:
  - Des deux opérandes
  - Du résultat
  - Dans un même acte d'attention

Certains individus n'y parviennent pas, ou pas toujours, notamment avec les « grandes » opérations

*(Thevenot, Barrouillet & Fayol, 2001; Thevenot, Fanget & Fayol, 2010).*

## Pour conclure

Un bilan modeste; de nombreux travaux en cours

## Pour conclure

- Une définition « en creux »; des caractéristiques (trop) variées et peu stables au cours de l'évolution;
- Origine souvent mal déterminée: trouble **secondaire ou primaire**; possible causalité multiple  
*(Rubinsten & Henik, 2009);*
- Diagnostic désormais affiné; mais...
- Problèmes de **prise en charge** : l'évaluation reste à faire; interventions: collaboration entre spécialistes et enseignants;