

IREM de Limoges – 16 janvier 2020



BBL

Les recherches en neurosciences cognitives : quels apports pour l'enseignement des mathématiques ?

Marie-Line Gardes

Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon

Inserm, CNRS et Université de Lyon

INSPE de l'Académie de Lyon

marie-line.gardes@univ-lyon1.fr

Merci de vous
connecter à Menti.com



Université Claude Bernard  Lyon 1

BRAIN NETWORK RESEARCH WORKSHOP

EMPOWERING EDUCATION THROUGH NEUROCOGNITIVE

NEUROEDUCATION

ARN

ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE EN NEUROÉDUCATION / ASSOCIATION FOR RESEARCH IN NEUROEDUCATION

**Institut de Neuro
International**

Dévoient les mystères du cerveau pour



**SYMPOSIUM DE
NEUROÉDUCATION**

Découvrir les mystères du cerveau pour mieux apprendre et enseigner

Palais des Rois de Majorque, Perpignan

Samedi 6 décembre 2014
Entrée libre

09:00-12:00 / 14:00-17:30

**Journées Internationales
de neuroéducation
à Collioure**

Découvrir les mystères du cerveau pour mieux apprendre et enseigner

Centre Culturel de Collioure

Vendredi 16
et samedi 17 mai 2014

Entrée libre

09h30 - 12h00 / 14h00 - 18h00

Institut de Neurodidactique International
International Educational Institute

www.neuroeducation.eu / iei@orange.fr

**Emergence of
Neuroeducation**

2013 AMRI

**Trends in
& Neuroscience
& Education**



2009

emery Bell Academy
Nashville, TN

COLLOQUE INTERNATIONAL - SYMPOSIUM

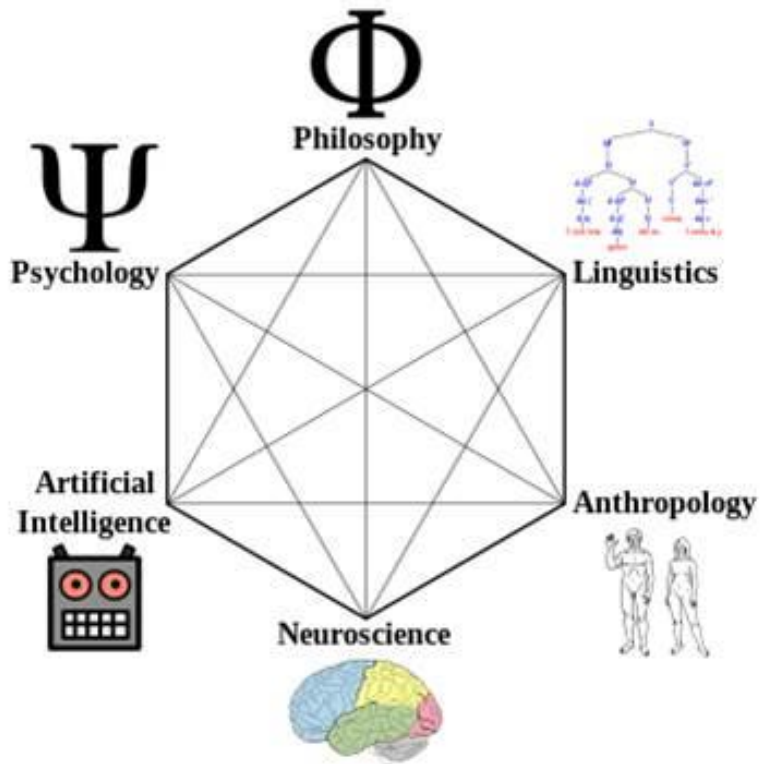
**L'AVENTURE DES
NEUROSCIENCES**

DES TERRITOIRES DE LA RECHERCHE AUX DÉFIS DE L'ÉDUCATION

03, 04, 05 et 06 Juin 2015 - Angers - France

Neurosciences cognitives

Sciences cognitives



Neurosciences cognitives

Ensemble des disciplines qui ont pour objets d'établir la nature des relations entre la cognition et le cerveau.

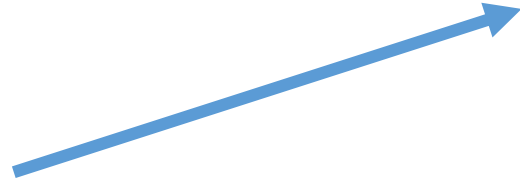
Neurosciences

Étude du fonctionnement du système nerveux depuis les aspects les plus élémentaires : moléculaires, cellulaires et optiques jusqu'à ceux, plus intégratifs, qui portent sur les fonctions comportementales et cognitives.

(site du CNRS)



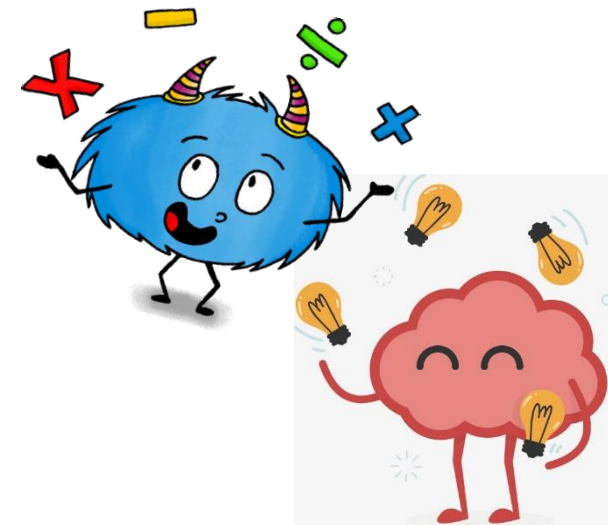
Un petit quizz



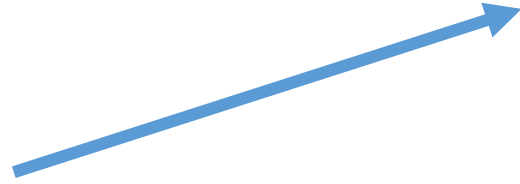
Neuroéducation ?



Trois exemples



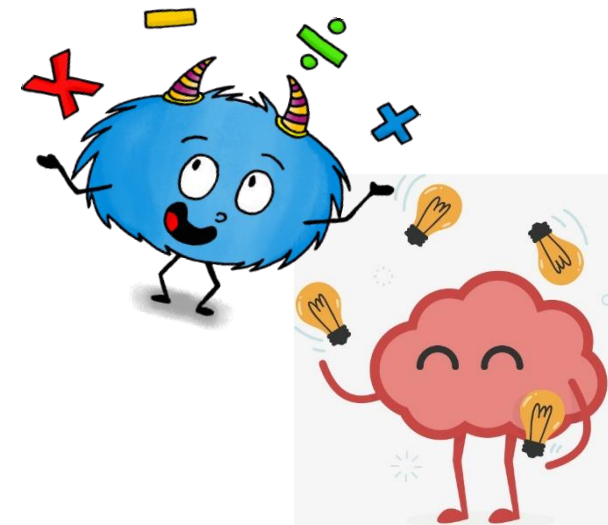
Un petit quizz



Neuroéducation ?



Trois exemples



Un petit quizz

Merci de vous
connecter à Menti.com



Et chez les enseignants ?

NEUROMYTHE

Une croyance erronée à propos du fonctionnement du cerveau.

Tableau 1. Neuromythes les plus fréquents chez les enseignants.

Neuromythe	Prévalence chez les enseignants					
	Royaume-Uni	Pays-Bas	Turquie	Grèce	Chine	Moyenne
Styles d'apprentissage Les élèves apprennent mieux lorsqu'ils reçoivent l'information dans leur style d'apprentissage préféré (ex. auditif, visuel ou kinesthésique)	93 %	96 %	97 %	96 %	97 %	96 %
Dominance hémisphérique Des différences de dominance hémisphérique (cerveau gauche ou cerveau droit) peuvent aider à expliquer les différences observées parmi les apprenants.	91 %	86 %	79 %	74 %	71 %	80 %
Exercices de coordination De courtes séances d'exercices de coordination peuvent améliorer l'intégration des fonctions des hémisphères gauche et droit du cerveau	88 %	82 %	72 %	60 %	84 %	77 %
Sucre Les élèves sont moins attentifs après avoir consommé une boisson et/ou une collation sucrée.	57 %	55 %	44 %	46 %	62 %	53 %
10 % Nous n'utilisons à peine que 10 % de notre cerveau.	48 %	46 %	50 %	43 %	59 %	49 %

Note : les données pour le Royaume-Uni et les Pays-Bas proviennent d'une étude de Dekker *et al.* (2012) et celles pour les autres pays de Howard-Jones (2014).

Un petit quizz



Il est cerveau gauche, elle est cerveau droit...?



Distorsion de connaissances scientifiques

- ✓ Mythe de l'hémisphéricité
- ✓ Mythe de la « dominance hémisphérique »
- ✓ Mythe des « personnalités hémisphériques »



Recherches actuelles

- ✓ Une façon différente de traiter une même information, et non à une répartition gauche/droite des informations traitées.
- ✓ Toutes les fonctions **nécessitent d'être traitées par les deux hémisphères pour être réalisée pleinement et correctement.**

Un petit quizz

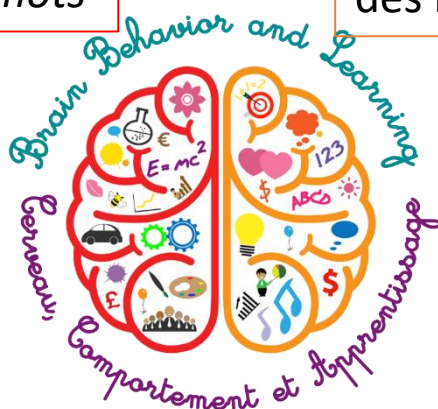


Il est cerveau gauche, elle est cerveau droit...?

aspects centraux de la parole : la *grammaire*, la *production des mots*

langage

intonation et de l'accentuation des mots



localisation précise des objets, à des endroits spécifiques

espace

la perception générale de l'espace



Profit : Commercial, secte...

C
n
s
c
a

? Test Psycho

L'étudiant, test orientation

Êtes-vous plutôt cerveau gauche ou cerveau droit ?

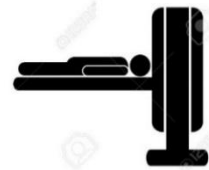
COMMENCER LE TEST

Notre cerveau se compose d'un hémisphère gauche et d'un hémisphère droit remplissant, chacun, des rôles différents. Même si nous utilisons constamment les deux, il est possible, selon sa personnalité, de privilégier les fonctions de l'un ou de l'autre. Alors, plus analytique comme le cerveau gauche ou plus créatif comme le cerveau droit, où vous situez-vous ?

Un petit quizz

Faux !

coordination améliore l'apprentissage ?



Recherches actuelles

- ✓ De courts exercices de coordination motrice **ne permettent de favoriser ni l'apprentissage, ni les fonctions cognitives, ni la communication entre les hémisphères cérébraux** (Dekker et al., 2012)
- ✓ L'activité physique **améliore significativement les capacités cognitives des élèves et même le fonctionnement de leur cerveau.**

Les activités de Brain Gym®

Je me prépare à... lire, écrire, écouter ou parler

Mouvements de la ligne médiane

Penser à un X Les roulements du cou Le crayonnage au miroir Les huit de l'alphabet La respiration ventrale

L'éléphant Les abdos croisés Les huit couchés Les balancements

... planifier, organiser ou classer

Techniques

Les points de l'espace Les points d'entraînement Les points du cerveau Les points d'équilibre

Attitudes d'appropriation

Les contacts croisés

... se concentrer, comprendre ou participer

Activités d'allongement

La chouette L'activation du bras Les flexions du pied Le pléneur La pompe du maître Les pieds sur terre

Apprendre à bouger... bouger pour apprendre

Aucune étude ne valide les prétentions du programme !

Un petit quizz



Les individus apprennent mieux quand ils reçoivent les informations dans leur style d'apprentissage préféré (auditif, visuel, kinesthésique)

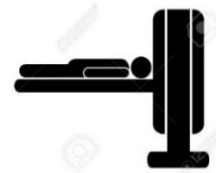


Distorsion de connaissances scientifiques

Présumé 1 : chaque apprenant a une modalité préférée

Présumé 2 : la modalité d'instruction devrait correspondre à la modalité préférée.

Des méthodes qui exagèrent les spécificités au détriment du processus qui pourraient être fédérateurs : apprentissages multimodaux



Recherches actuelles

Deux méta-analyses

Pashler et al. 2008

Landrum & McDuffie, 2010

[...] bien que les élèves puissent avoir des préférences liées à un mode d'apprentissage particulier, le fait d'enseigner en fonction de ces préférences ne favorise pas un meilleur apprentissage (Masson, 2015)

Et chez les enseignants ?

Objectif de l'étude

Etudier la prévalence des neuromythes chez des enseignants

• Participants

242 enseignants du primaire et du secondaire (NL et EN) intéressés par les neurosciences pour l'apprentissage

• Méthode

32 questions : 17 sur le cerveau et 15 neuromythes



Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers

Sanne Dekker^{1*}, Nikki C. Lee¹, Paul Howard-Jones² and Jelle Jolles¹

¹ Department of Educational Neuroscience, Faculty of Psychology and Education, LEARN! Institute, VU University Amsterdam, Amsterdam, Netherlands

² Graduate School of Education, University of Bristol, Bristol, UK

Résultat 1

- Enseignants souscrivent à 49% de neuromythes (7 sur 15)
- Enseignants obtiennent ≈70% de bonnes réponses sur les connaissances sur le cerveau

Résultat 2
Corrélation positive entre le niveau de connaissance sur le cerveau et le degré d'adhérence aux neuro-mythes

	<i>B</i> (SE)	<i>t</i>	<i>p</i>	95% CI for <i>B</i>	
				Lower	Upper
Intercept	0.250 (0.067)	3.73	0.000	0.118	0.382
Country	-0.001 (0.020)	-0.072	0.943	-0.041	0.038
Age	0.002 (0.001)	1.75	0.082	0.000	0.003
Gender	0.030 (0.021)	1.43	0.155	-0.011	0.071
Teacher	-0.024 (0.019)	-1.27	0.206	-0.061	0.013
Read popular science	0.006 (0.024)	0.256	0.798	-0.041	0.053
Read scientific journals	-0.024 (0.026)	-0.940	0.348	-0.075	0.027
In-service training	-0.002 (0.020)	-0.078	0.938	-0.040	0.037
Knowledge (% correct)	0.240 (0.071)	3.39	0.001*	0.100	0.379

* $p < 0.001$.

(Dekker et al. 2012)

Résultat 3
Le meilleur prédicteur du niveau de connaissances sur le cerveau est la consultation de textes de vulgarisation scientifique

	<i>B</i> (SE)	<i>t</i>	<i>p</i>	95% CI for <i>B</i>	
				Lower	Upper
Intercept	0.678 (0.046)	14.631	0.000	0.587	0.769
Country	0.044 (0.02)	2.270	0.024*	0.006	0.083
Age	-0.001 (0.001)	-0.688	0.492	-0.002	0.001
Gender	-0.005 (0.021)	-0.238	0.812	-0.046	0.036
Teacher	-0.002 (0.019)	-0.122	0.903	-0.039	0.034
Read popular science	0.067 (0.023)	2.919	0.004**	0.022	0.113
Read scientific journals	0.002 (0.026)	0.065	0.948	-0.049	0.052
In-service training	0.035 (0.019)	1.814	0.071	-0.003	0.073

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Et chez les enseignants ?

Conclusion de l'étude

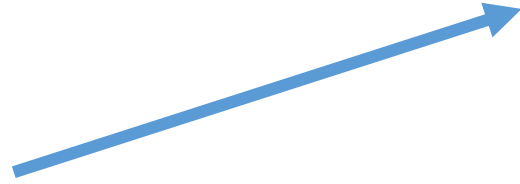
- Pas d'effet protecteur des connaissances neuroscientifiques sur la croyance aux neuromythes
- Difficile pour un enseignant de faire la différence entre informations correctes et erronées.

2 raisons : pas assez expert en neurosciences ; empressement à mettre en pratique en classe

Des solutions

- Développer la formation des enseignants sur les neuromythes et sur l'évaluation de la recherche scientifique
- Améliorer la communication entre enseignants et chercheurs
- Conseiller aux chercheurs d'être attentifs aux messages de vulgarisation

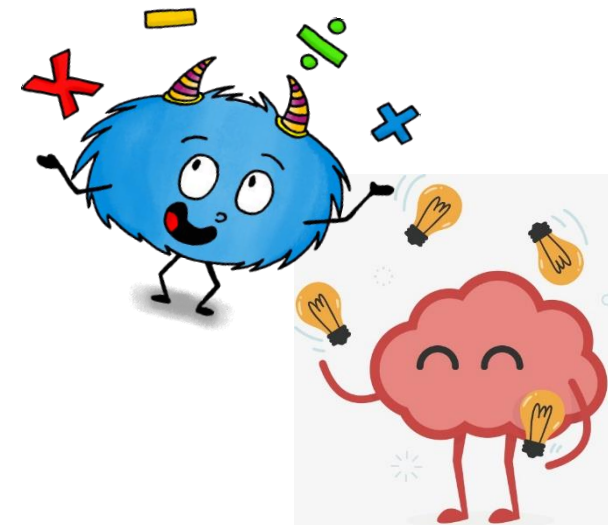
Un petit quizz



Neuroéducation ?



Trois exemples



Qu'est-ce que la **neuroéducation** ?

Le vaste domaine de recherche qui se situe à l'intersection de la neuroscience cognitive et du domaine de l'éducation et qui étudie le rôle des connaissances sur le fonctionnement du cerveau en éducation. (Masson, 2007, p.312)

Objectifs :

- Identifier les mécanismes cérébraux liés aux apprentissages scolaires et à l'enseignement
- Comprendre comment la connaissance de ces mécanismes peut donner des indices pour faciliter les apprentissages et mieux enseigner

Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- Des recherches fondamentales – en laboratoire
- Des recherches appliquées pour évaluer des effets sur les apprentissages – en labo et en classe
 - Des apports de connaissances aux élèves en neurosciences cognitives
 - Des situations d'apprentissage basées sur des résultats en neurosciences cognitives
 - Sur le fonctionnement général du cerveau (par ex. fonctions exécutives)
 - Sur des mécanismes cérébraux spécifiques aux mathématiques (par ex. cognition numérique)



Qu'est-ce qu'une recherche en **neuroéducation** ?

Référence à l'[article](#) de E.Gentaz *Du labo à l'école : le délicat passage à l'échelle.*

Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

Trois niveaux

PROTOCOLE NIVEAU 3

Un seul groupe d'élèves

Intervention proposée à un seul groupe Pré-test/
Post-test

Permet de tester la faisabilité d'une intervention

Empêche toute interprétation des résultats.

En effet, même si l'on constate une progression chez les élèves testés, rien ne permet d'affirmer que d'autres élèves qui n'ont pas bénéficié de cette intervention n'ont pas connu la même évolution sur les variables mesurées.



PROTOCOLE NIVEAU 2

Deux groupes d'élèves: expé/ témoin passif

Intervention proposée à un seul groupe
(éventuellement intervention promise à l'autre
groupe pour plus tard)

Permet de tester la faisabilité d'une intervention

Risque « d'effet placebo »

En effet, lorsque les élèves et les enseignants sont conscients de participer à une intervention particulière, ils ont des attentes positives vis-à-vis de cette intervention, ce qui peut avoir une influence. Le risque est donc d'obtenir des mesures biaisées ou non reproductibles.



PROTOCOLE NIVEAU 1

Deux groupes d'élèves: expé/
témoin actif

Intervention proposée à chaque
groupe

De nature différente

Permet d'évaluer
l'efficacité
spécifique de
l'intervention
Le plus robuste



Ce qui n'est pas une recherche en neuroéducation

Un exemple - *Neurosup*

- Rassembler et présenter la synthèse des dernières avancées en neurosciences, qui permettent de mieux réussir, plus facilement et avec plus de plaisir, tout apprentissage.
- Travail autour de la mémoire, la compréhension, la restitution, l'attention, le stress, la mise en relation, la créativité



Pas de protocole expérimental
Pas de « preuves » qu'il y a des effets sur les apprentissages !

Des exemples qui viennent légitimer ou enrichir des pratiques ou conseils habituels

Exemple 1 :

l'intérêt de répéter, de faire des exercices d'entraînement

Chaque connaissance est en fait matérialisée par un trajet neuronal. Répéter, réviser, permet de consolider ce trajet et d'accélérer la vitesse de transmission des informations (cliquer sur la vidéo ci-dessous).



Exemple 3 :

comprendre aide à mémoriser mais ne suffit pas pour mémoriser

Pour faciliter la tâche de mémorisation par le cerveau (mémoire de travail et mémoire à long terme), il est conseillé d'adopter des stratégies de mémorisation, comme par exemple le regroupement de situations ou de mots pour diminuer le nombre d'items à gérer (ce n'est pas la seule astuce bien sûr).



Exemple 4 :

nous sommes lundi. L'élève a cours de maths. La prochaine fois qu'il aura maths sera vendredi. D'un point de vue de la mémorisation, il lui sera plus efficace de se replonger dans le cours le lundi soir même, que le jeudi soir (veille du prochain cours).
Les avancées en neurosciences permettent d'expliquer pourquoi.

fractionner son travail du soir en étapes facilement atteignables

"je fais 15 minutes de maths et après je passe à autre chose, quitte à y revenir après".

Car le succès entraîne dans le cerveau la libération de "dopamine", qui donnera envie de recommencer ou en tout cas nous empêchera d'être écoeuré. Donc, très vite, un meilleur moral et une meilleure capacité de travail. Essayez un soir, pour voir ... (cliquez déjà sur la vidéo ci-dessous !)



Exemple 5 :

l'élève souhaite faire des fiches de révision. D'un point de vue de la facilité à comprendre et mémoriser, il lui sera plus efficace de confectionner un document unique pour un chapitre plutôt que sur plusieurs petites feuilles. Encore plus si les informations sont regroupées en catégories.
Les avancées en neurosciences permettent d'expliquer pourquoi.

Exemple 6 :

l'enseignant donne souvent un exemple après avoir présenté la théorie (voire pas d'exemple du tout). A cet instant, plusieurs élèves n'écoutent pas, pensant qu'il s'agit d'un moment accessoire. Or l'exemple, en particulier s'il est relié à quelque chose que l'élève a rencontré dans sa vie, a un impact considérable sur la compréhension de la notion et sa mémorisation.
Les avancées en neurosciences permettent d'expliquer pourquoi.

Exemple 7 :

les réseaux neuronaux sont à la base de la compréhension d'une information, de son encodage, de sa mémorisation et de sa future restitution. La notion de combinaison est adaptée à cette configuration.
Consacrer les 5 dernières minutes du cours à faire le résumé de l'heure écoulée avec les élèves, leur permet de partir avec de bonnes combinaisons de notions, déjà triées de surcroît.
Les avancées en neurosciences permettent d'expliquer pourquoi.

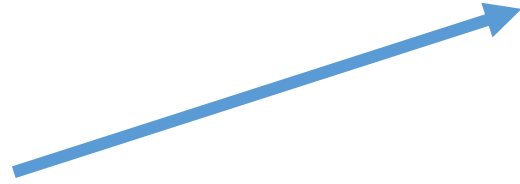


Premier point de vigilance sur les études en classe

Des expériences :

- Basées sur des résultats en psychologie cognitive...mais pas toujours en neurosciences. **Utilisation abusive du vocabulaire neuroscientifique.**
- Mises en place dans les classes....mais non évaluées :
On ne sait pas si ces programmes favorisent les apprentissages, ni si les élèves apprennent mieux !

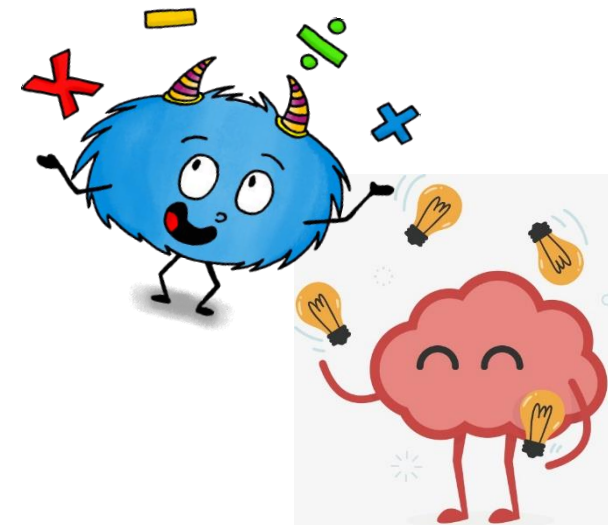
Un petit quizz



Neuroéducation ?



Trois exemples



Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- Des recherches fondamentales – en laboratoire
- Des recherches appliquées pour évaluer des effets sur les apprentissages - en labo et en classe
- Des apports de connaissances aux élèves en neurosciences cognitives
- Des situations d'apprentissage basées sur des résultats en neurosciences cognitives
 - Sur le fonctionnement général du cerveau (par ex. fonctions exécutives)
 - Sur des mécanismes cérébraux spécifiques aux mathématiques (par ex. cognition numérique)



Programme pédagogique neuroéducatif en classe

Étude de Lanoë, Lubin et Rossi, 2015 :

Le programme pédagogique neuroéducatif « à la découverte de mon cerveau » : quels bénéfices pour les élèves d'école primaire ?

- **Objectif** : Évaluer les effets d'une séquence pédagogique neuroéducative sur le fonctionnement du cerveau sur les théories implicites de l'intelligence et les performances en lecture et en mathématiques (CE1 à CM2)
- **Méthodologie** : 67 élèves, 34 CE et 33 CM

Niveau 1

	Pré-test	Séquence pédagogique			Post-test 1 (immédiat)	Post-test 2 (1,5 mois plus tard)
Programme neuroéducatif	- théories implicites de l'intelligence - Fluence lecture - Fluence calcul	Séance 1 A quoi ressemble mon cerveau et à quoi sert-il ?	Séance 2 Comment mon cerveau « grandit » ?	Séance 3 Que se passe-t-il dans mon cerveau quand j'apprends ?	- théories implicites de l'intelligence - Fluence lecture - Fluence calcul	- théories implicites de l'intelligence - Fluence lecture - Fluence calcul
Programme contrôle		Séance 1 Comment naissent les êtres vivants ?	Séance 2 Comment grandissent les êtres vivants ?	Séance 3 Comment se reproduisent les êtres vivants ?		

Programme pédagogique neuroéducatif en classe

Tableau 2. Pourcentages de progression (écart-type) entre le pré et les post-tests 1 et 2 relatifs aux théories implicites de l'intelligence et aux performances en fluence de lecture et de calcul selon le programme pédagogique et le niveau scolaire (NS = non significatif, * = $p < .05$, *** = $p < .0001$).

Évaluation	Niveau scolaire	POST1 minus PRE			POST2 minus PRE		
		Programme Neuroéducatif	Programme Contrôle	P	Programme Neuroéducatif	Programme Contrôle	P
Théories implicites de l'intelligence	CE1/CE2	2.20 (3.80)	-3.33 (17.6)	NS	-8.87 (23.07)	-2.83 (18.47)	NS
	CM1/CM2	6.07 (11.37)	1.43 (14.60)	NS	11.57 (12.13)	-1.23 (13.27)	*
Lecture	CE1/CE2	0.92 (3.07)	0.28 (4.27)	NS	4.81 (4.94)	1.03 (5.64)	***
	CM1/CM2	5.81 (3.80)	-0.34 (3.41)	***	7.44 (5.13)	1.11 (6.25)	***
Calcul	CE1/CE2	6.94 (9.78)	-0.17 (6.75)	*	8.17 (11.22)	4.33 (9.05)	NS
	CM1/CM2	4.56 (10.83)	9.19 (8.22)	NS	6.69 (12.14)	11.28 (7.94)	NS

Préconisations des auteurs : introduire les sciences cognitives à l'école et faire découvrir aux élèves comment fonctionne leur cerveau afin de mieux s'en servir ; proposer des méthodes pédagogiques efficaces.



Un second point de vigilance sur les études en classe

- Des expériences menées par des chercheurs en neurosciences cognitives dans des classes, en interaction avec des enseignants.
- Des expériences qui cherchent à évaluer des apprentissages notionnels.
- Des résultats qui peuvent être enrichis (...avec des études didactiques !) :
 - *Qui construit les séances pédagogiques ?*
 - *Ont-elles été analysées du point de vue des contenus, des apprentissages ?*
 - *Leur mise en œuvre a-t-elle été observée et analysée ?*
 - *Quelle évaluation des apprentissages fait-on en mathématiques lorsqu'on évalue uniquement par un test de calcul ?*
 - *Entre obstacle en didactique et inhibition ?*
 - *Impact du dispositif matériel ou de la mise en évidence d'un « piège » ?*

Des ressources

Lanoë, C., Lubin, A. & Rossi, S. (2015). Le programme pédagogique neuroéducatif « A la découverte de mon cerveau » : quels bénéfices pour les élèves d'école primaire ? *A.N.A.E*, 27(134), 56-62.

m@gistère RÉSEAU CANOPE Accueil Se former Former Concevoir Espaces collaboratifs Offre MLG

Tableau de bord > Session de formation > Session en auto-inscription > Sciences cognitives - Autoformation > Accueil



SOMMAIRE

- ➔ Accueil
- ▶ Prendre conscience de son fonctionnement cognitif
- ▶ Se sensibiliser aux neurosciences cognitives
- ▶ Éduquer au contrôle cognitif : l'attention
- ▶ Éduquer au contrôle cognitif : l'inhibition cognitive
- ▶ Éduquer au contrôle cognitif : la flexibilité cognitive
- ▶ Pour terminer votre parcours : faire état de ses connaissances sur le sujet
- ▶ Pour aller plus loin
- ▶ Crédits

Découvrir le cerveau à l'école : les sciences cognitives au service des apprentissages - Autoformation ☆

Accueil

PRÉSENTATION DE VOTRE FORMATION

Bienvenue sur ce parcours « e-découverte », destiné à sensibiliser tous les enseignants au fonctionnement cognitif et cérébral de l'enfant. Il a pour but de vous aider à comprendre comment les élèves apprennent mais également de faire prendre conscience aux élèves des outils cognitifs dont ils disposent pour mieux apprendre à tous les niveaux de cycles. Les situations de cycle 1 proposées dans ce parcours pourront être transposées aux cycles 2 et 3.

Comptez six heures pour découvrir l'ensemble du parcours. À partir de la figure de navigation, vous visualiserez l'organisation systémique du parcours et vous organiserez votre propre cheminement. Après le module initial « Prendre conscience de son fonctionnement cognitif » pour commencer le parcours et le module « Se sensibiliser aux sciences cognitives », vous pourrez librement choisir parmi les modules « Éduquer au contrôle cognitif : l'attention », « Éduquer au contrôle cognitif : l'inhibition cognitive » ou « Éduquer au contrôle cognitif : la flexibilité cognitive » dans l'ordre de votre choix. Après le dernier module, n'oubliez pas de faire état de vos

PARCOURS PROPOSÉ PAR

RESEAU - CANOPE . FR

CANOPÉ

LE RÉSEAU DE CRÉATION ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES

SUIVI DE MES ACTIVITÉS

✓

Survolez les cases pour plus de détails

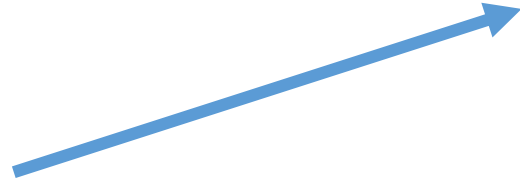
Progression: 33%

Formation en cours ?

▼ Actualiser la barre de suivi
Mise à jour : 12h07



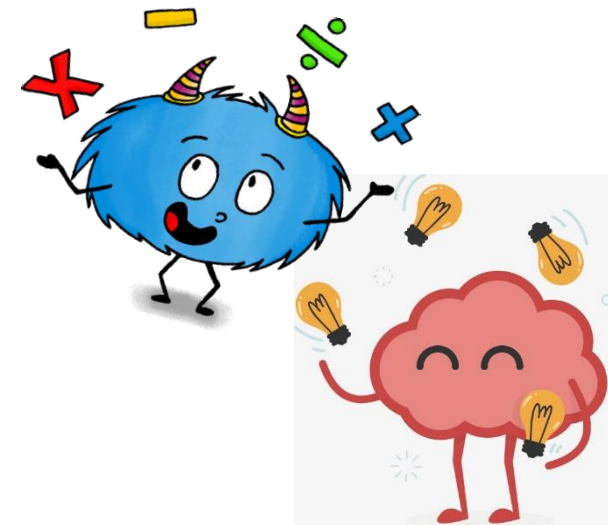
Un petit quizz



Neuroéducation ?



Trois exemples

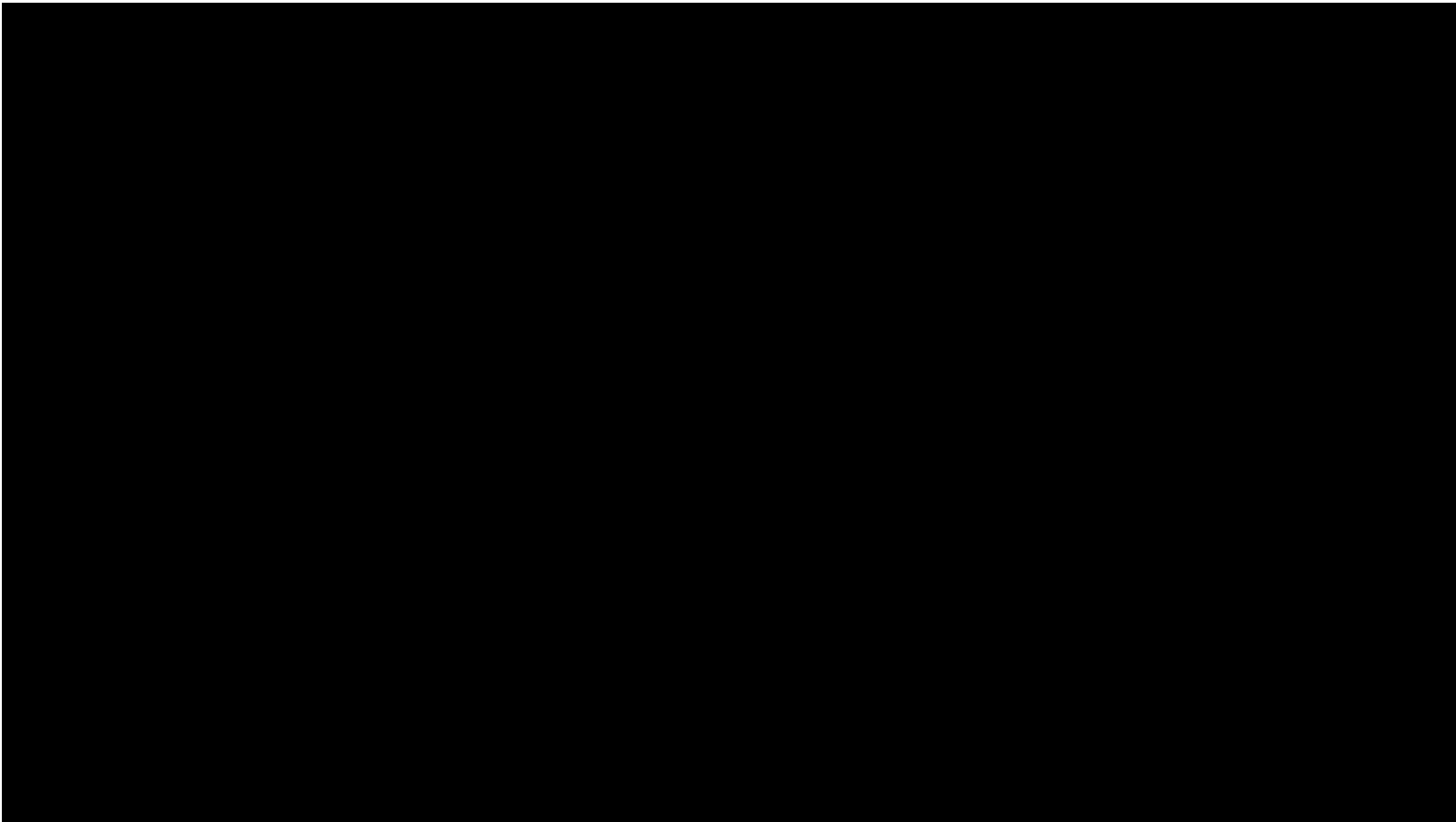


Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- Des recherches fondamentales – en laboratoire
- Des recherches appliquées pour évaluer des effets sur les apprentissages – en labo et en classe
 - Des apports de connaissances aux élèves en neurosciences cognitives
 - Des situations d'apprentissage basées sur des résultats en neurosciences cognitives
 - Sur le fonctionnement général du cerveau (par ex. fonctions exécutives)
 - Sur des mécanismes cérébraux spécifiques aux mathématiques (par ex. cognition numérique)

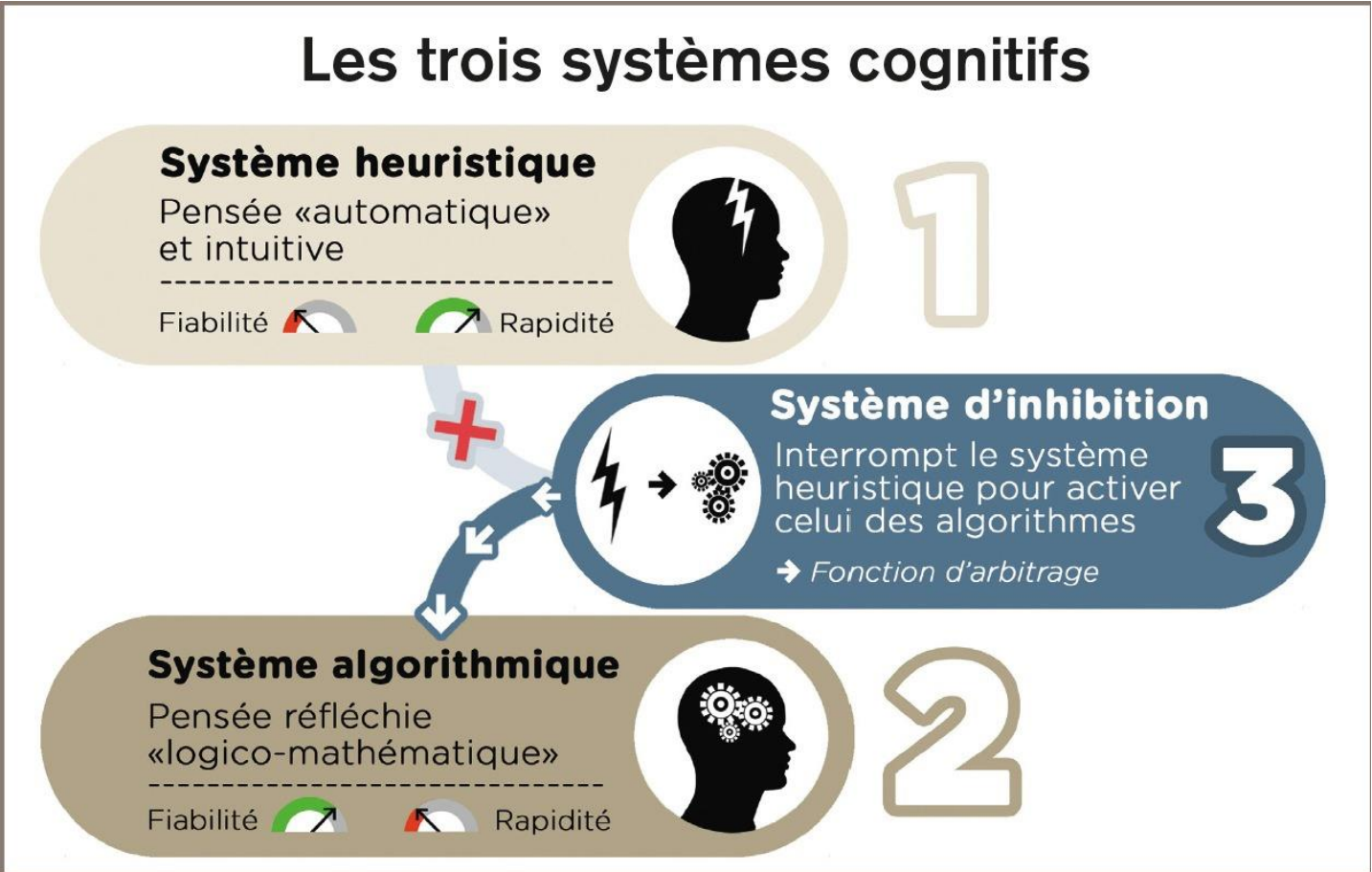


Le test du Chamallow

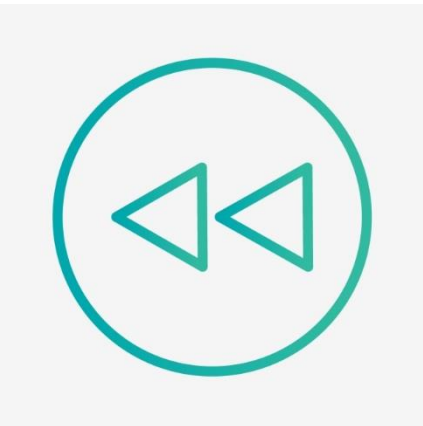


Le contrôle inhibiteur

Définition : L'inhibition est une forme de **contrôle cognitif** et comportemental qui permet aux sujets de **résister** aux habitudes, aux automatismes, aux tentations, aux distractions ou aux interférences, et de s'adapter aux situations complexes par la flexibilité (Houdé, 2000)



Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences



Piaget & Inhelder (1959)

Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences



- Réussite **dès 2 ans** de l'épreuve piagétienne modifiée de conservation de nombre

→ Influence du contexte pragmatique de l'interaction sur le comportement des enfants

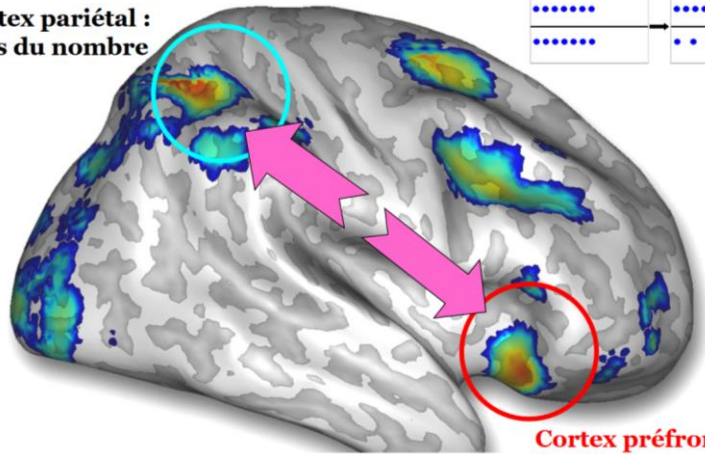
- A **5 ans** : dans la situation accidentelle, 70% de réponses « conservantes » (vs 5% dans la situation standard)

→ Influence du contexte d'expérimentation

Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences

Les échecs sur les tâches de Piaget seraient plus dus à des fonctions exécutives limitées qu'à un défaut de logique.

Cortex pariétal :
sens du nombre



Cortex préfrontal :
inhibition

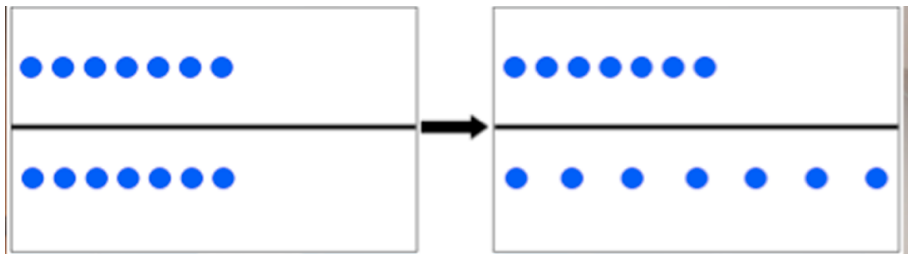


Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences

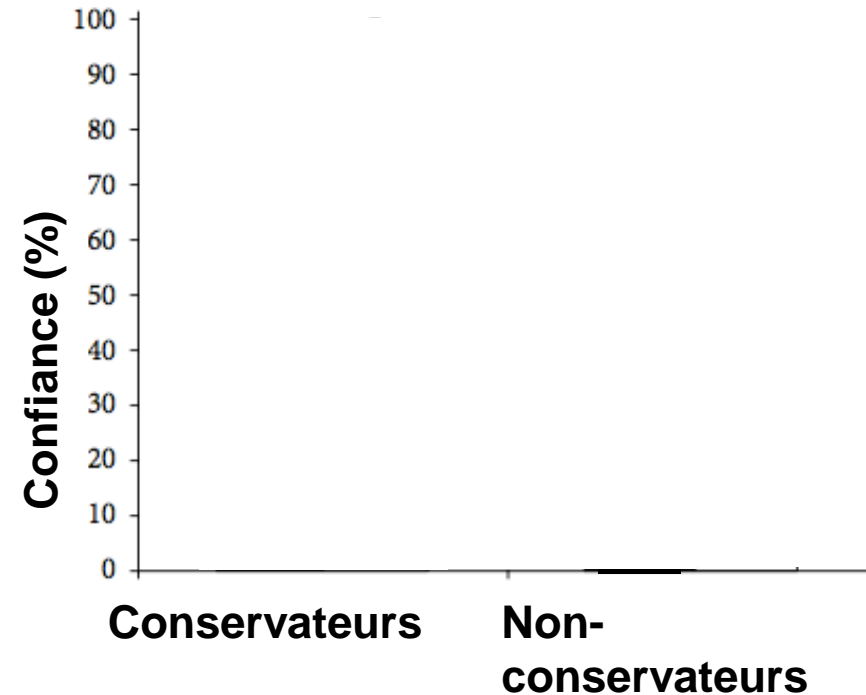
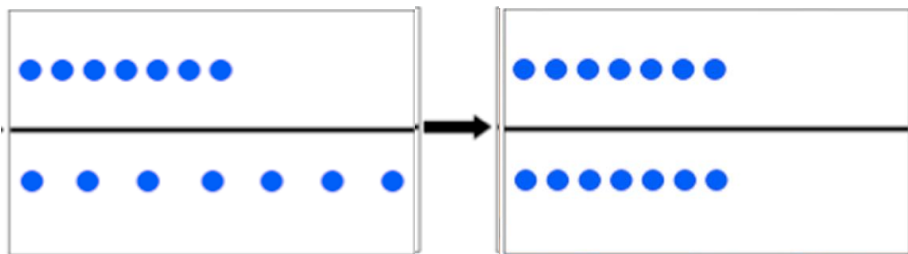
Les échecs sur les tâches de Piaget seraient plus dus à des fonctions exécutives limitées qu'à un défaut de logique.



Conflit

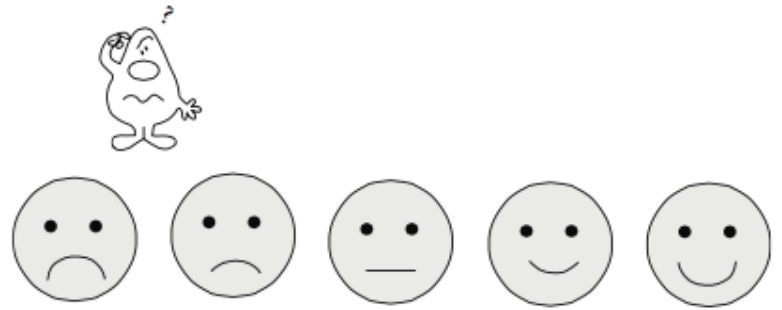


Pas de conflit



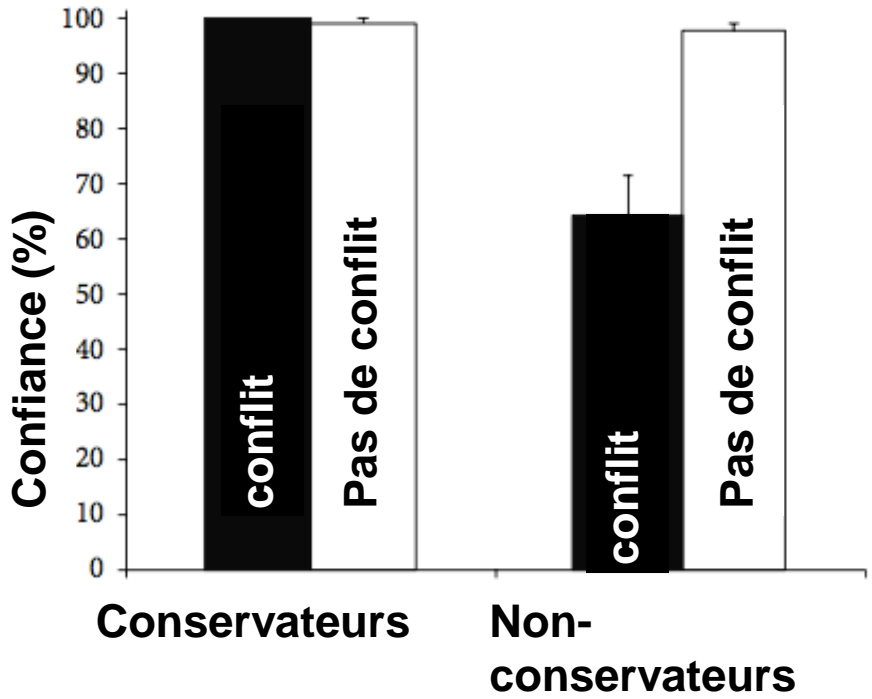
Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences

Les échecs sur les tâches de Piaget seraient plus dus à des fonctions exécutives limitées qu'à un défaut de logique.



Conclusion des auteurs :

- Les erreurs de conservation du nombre résultent de l'incapacité des enfants à inhiber avec succès leur intuition de « longueur = nombre »
- Détection de la nécessité d'inhiber mais processus d'inhibition non mature



Sur le contrôle inhibiteur – Une étude en classe

Des situations d'apprentissage construites à partir de résultats en neurosciences avec mesure des effets sur les apprentissages notionnels - Lubin, Lanoë, Pineau & Rossi, 2012 :
[Apprendre à inhiber.](#)

RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans

<https://doi.org/10.24046/neuroed.20120101.55>

Amélie LUBIN^{1,2,3,*}, Céline LANOË^{1,2,3,*}, Arlette PINEAU^{1,2,3} et Sandrine ROSS^{1,2,3}

¹ CNRS, unité 3521, LaPsyDÉ, Paris, France

² Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité, unité 3521, LaPsyDÉ, Paris, France

³ Université de Caen Basse-Normandie, unité 3521, LaPsyDÉ, Caen, France

* Ces auteurs ont contribué équitablement à cette recherche.

* Courriels : amelie.lubin@parisdescartes.fr et celine.lanoe@unicaen.fr

Sur le contrôle inhibiteur – Une étude en classe

Étude de Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi, 2012

Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans.

- **Objectifs** : enseigner aux élèves une méthodologie de travail centrée sur le contrôle cognitif et la détection de conflit pour l'apprentissage d'une notion (en orthographe et en mathématiques)
- **Méthodologie** :
 - Processus d'échanges entre psychologues cognitivistes et professionnels de l'éducation
 - 45 élèves de CP (24 retenus pour l'étude)

	Pré-test	Séquence pédagogique : 3 séances de 30 min			Post-test 1
	15 items - 5 items pièges (ex : 4d vs. 35u) - 5 items sans piège (3d vs. 35u) - 5 items distracteurs (4d vs. 3 d)	Séance 1 – sous forme d'une situation problème - Présentation du problème, - travail individuel - travail en groupe, - mise en commun en classe, - mise en évidence de la bonne stratégie	Séance 2 - Rappel de la situation problème, de la bonne stratégie - Présentation du matériel - Utilisation du matériel dans plusieurs situations problèmes similaires à la première	Séance 3 un travail individuel sur fiche - Entourer le personnage qui a le plus d'objets - Incitation à utiliser le matériel - Correction collective : préciser l'unité dans laquelle on compare et utiliser le matériel	15 items - 5 items pièges (ex : 4d vs. 35u) - 5 items sans piège (3d vs. 35u) - 5 items distracteurs (4d vs. 3 d)
Apprentissage à l'inhibition		Mise en évidence des pièges à éviter	- Rappel pièges à éviter - Présentation du matériel « attrape-piège »		
Apprentissage classique			Présentation de la carte réponse correcte bleue		

Paul et Kévin vont dans la forêt ramasser des brindilles pour allumer le feu. Paul met toutes ses brindilles dans son sac sans le ranger, mais Kévin décide de faire des fagots de 10 brindilles pour les utiliser plus facilement. Au retour de leur promenade. Paul a 30 brindilles et Kévin a 4 fagots.

Qui a le plus de brindilles ?

Paul a 30 brindilles et Kévin a 4 fagots.
Qui a le plus de brindilles ?

Apprentissage à l'inhibition

Je compare sans vérifier

Si ce n'est pas pareil :
je transforme !

Si c'est pareil :
je compare.

Apprentissage classique

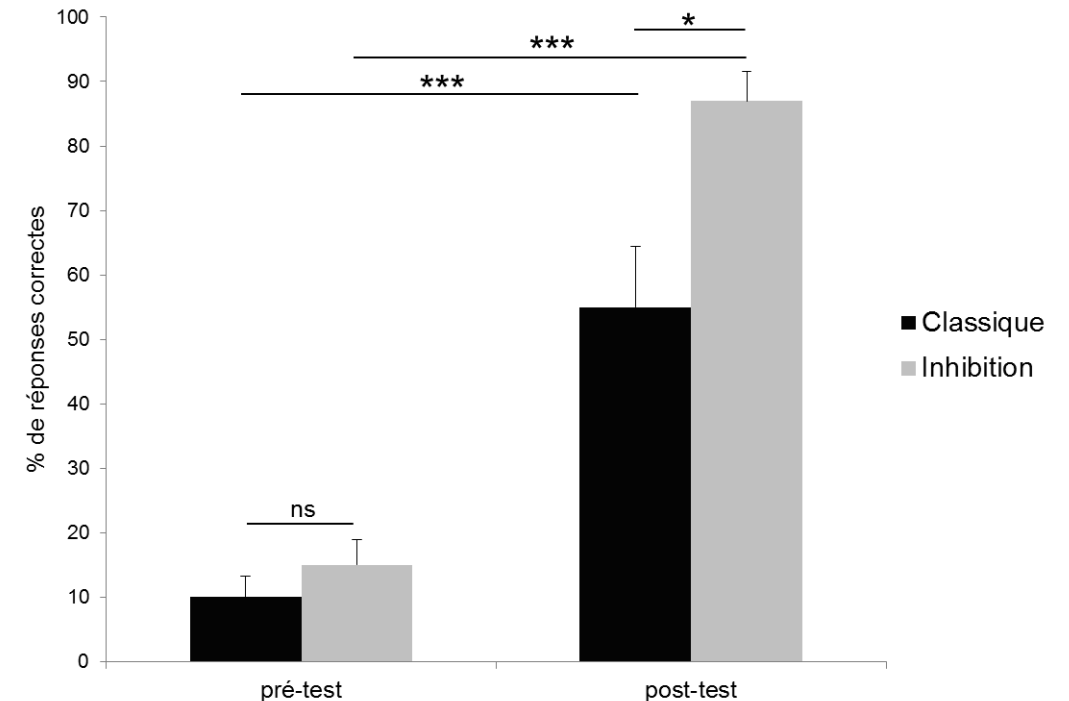
Si ce n'est pas pareil :
je transforme !

Si c'est pareil :
je compare.

Sur le contrôle inhibiteur – Une étude en classe

Résultats :

- les élèves du groupe inhibition ont amélioré leur performance de façon plus importante que ceux du groupe classique.
- orienter l'attention de l'élève sur le piège à éviter et lui donner des outils pédagogiques matérialisant le piège et son blocage paraît être un atout pour celui-ci.





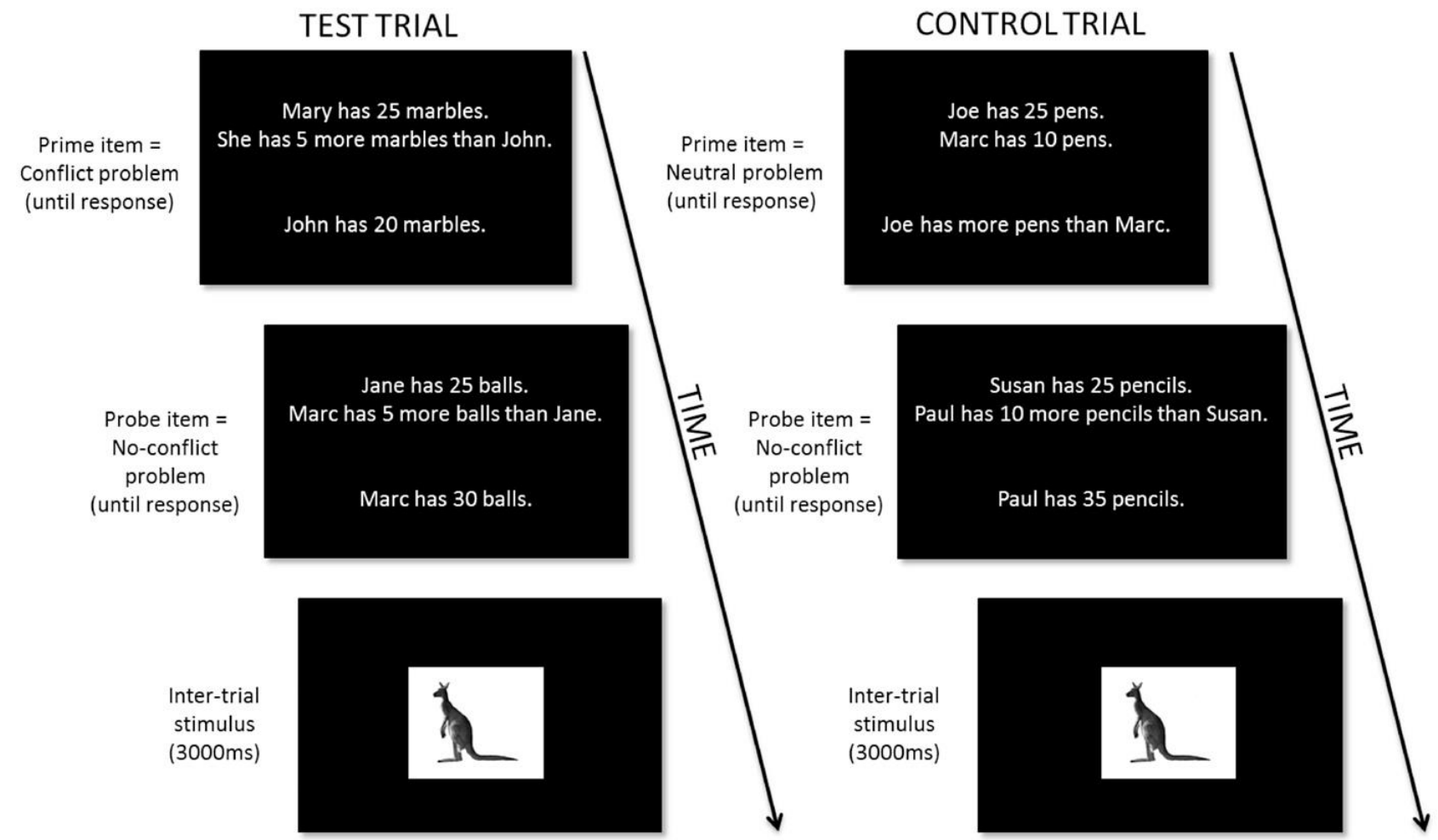
Un troisième point de vigilance pour les études en classe

- Une expérience menée par des chercheurs en neurosciences cognitives, en laboratoire, puis jusque dans la classe.
- Difficulté de mener des expérimentations en classe...et de **contrôler un maximum de paramètres** !
- Une expérience qui évalue l'impact d'une fonction cognitive sur des apprentissages notionnels (en mathématiques).
- Importance de connaître les « grandes » fonctions cognitives qui sous-tendent les apprentissages.

Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

Résolution de problèmes arithmétiques

Marie a 10 billes. Elle en a 5 de plus que Amir. Combien Amir a-t-il de billes ?

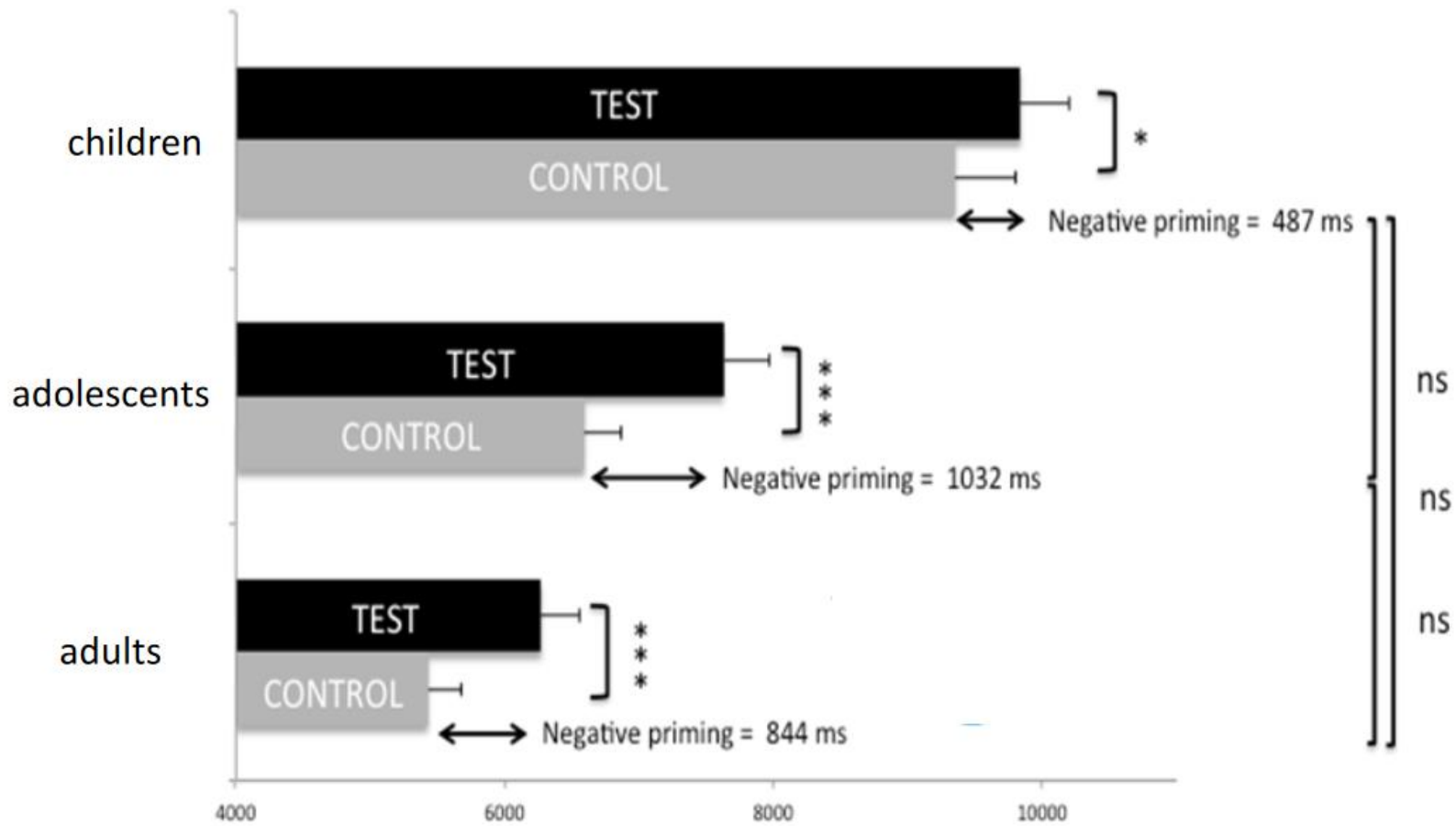


(Lubin et. al, 2013)

Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

Résolution de problèmes arithmétiques

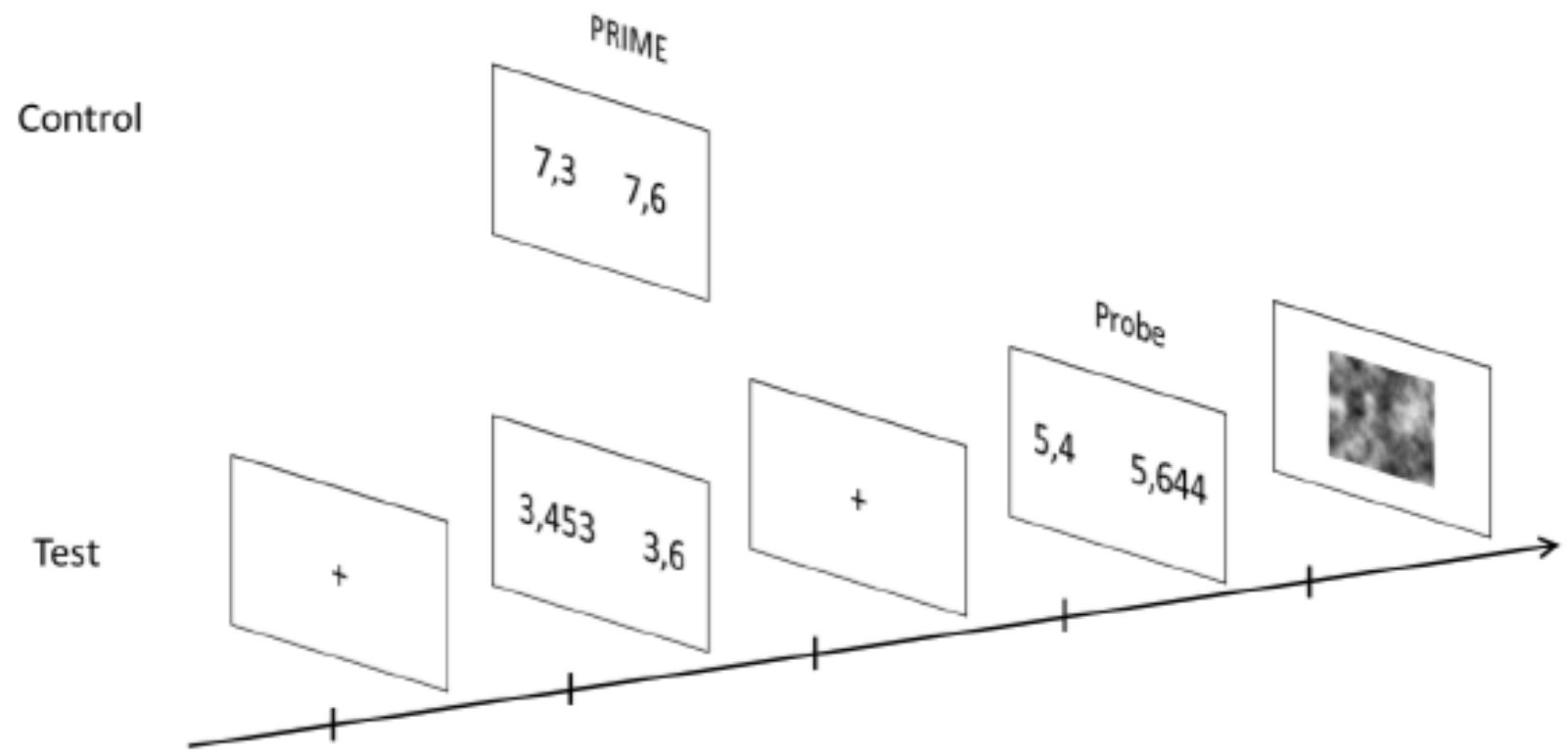
Marie a 10 billes. Elle en a 5 de plus que Amir. Combien Amir a-t-il de billes ?



Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

Comparaison de nombres décimaux

Qui est le plus grand ?
4,7 ... 4,642

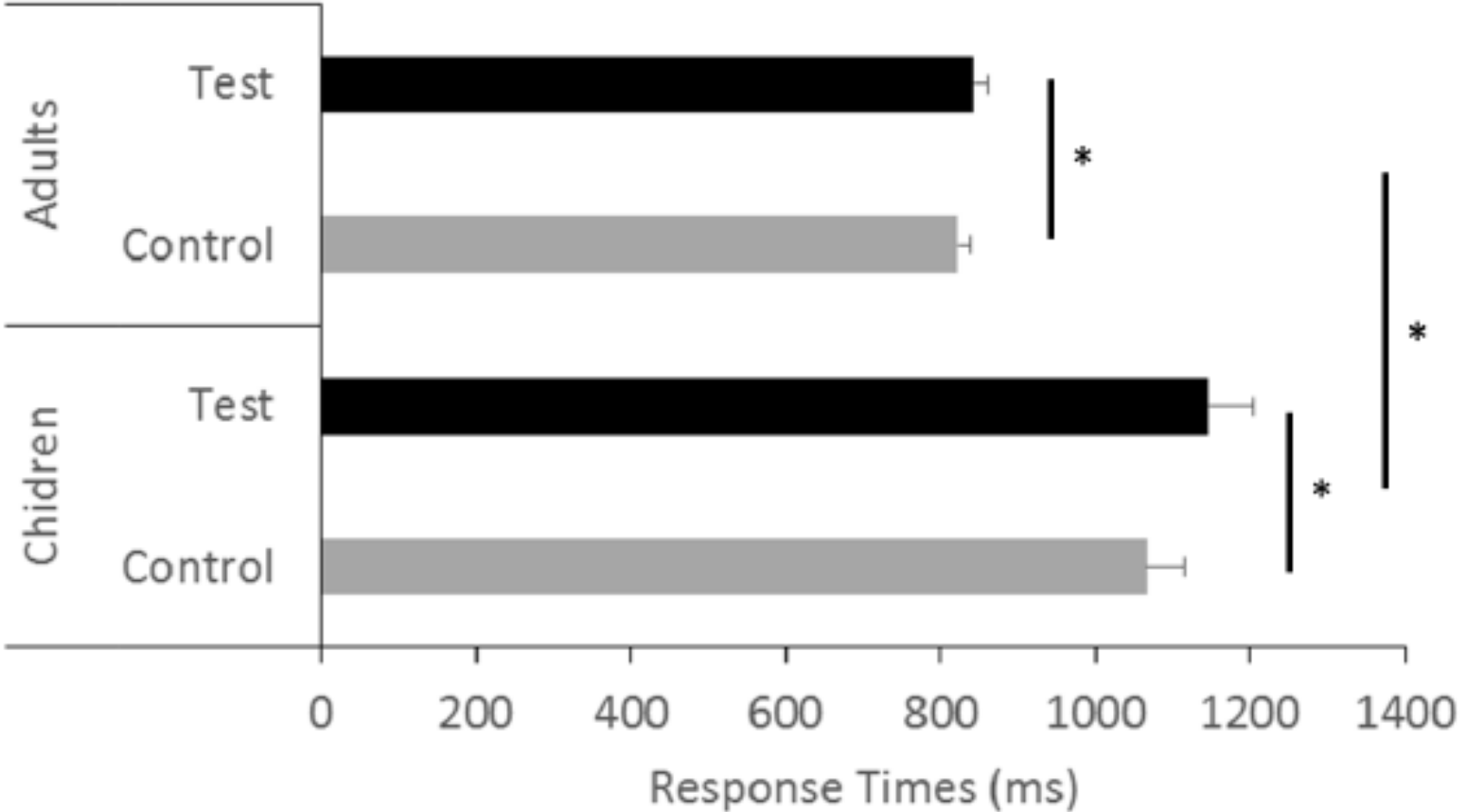


(Roell et. al, 2017)

Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

Comparaison de nombres décimaux

Qui est le plus grand ?
4,7 ... 4,642

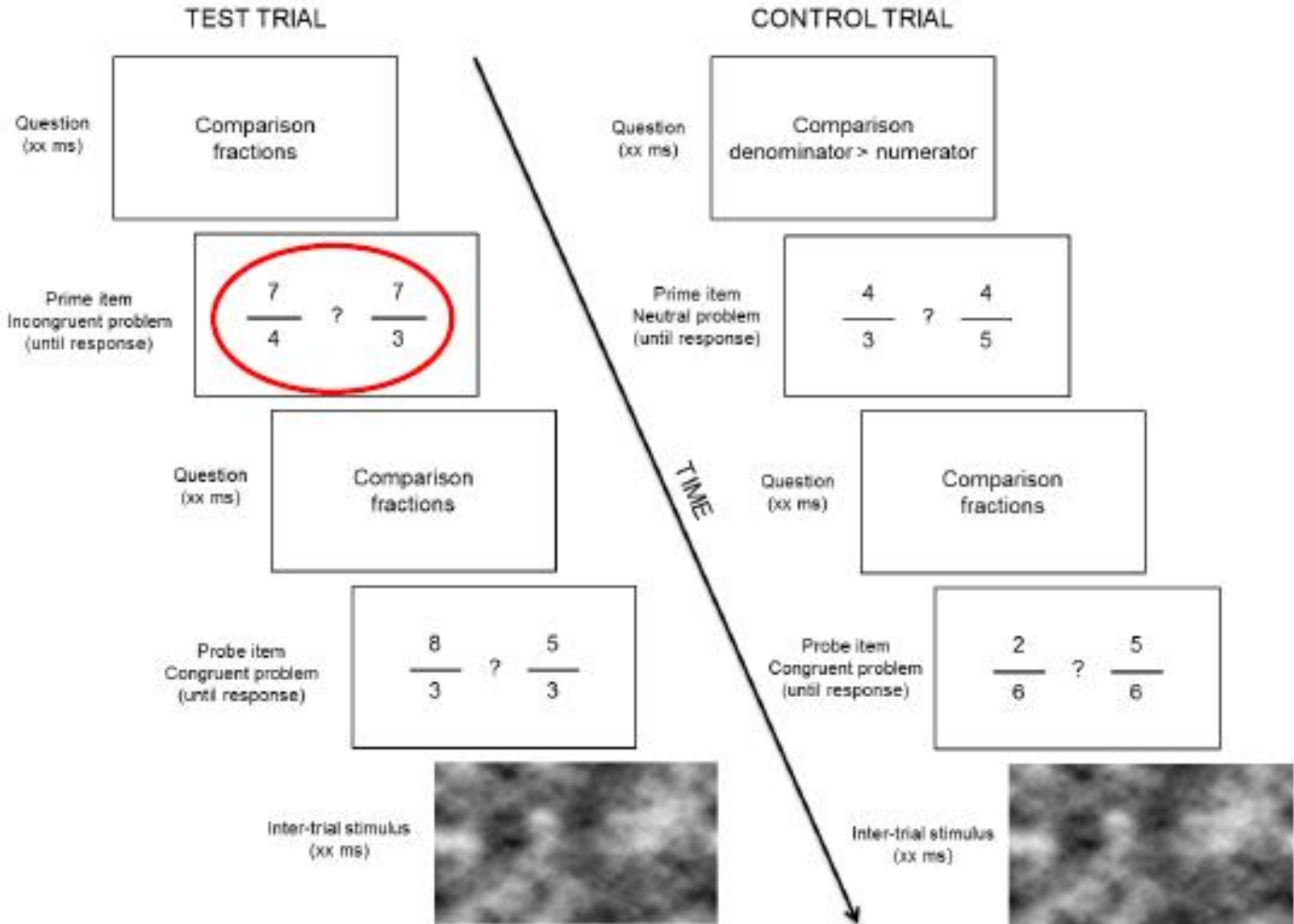


(Roell et. al, 2017)

Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

Comparaison de fractions

Qui est le plus grand ?
 $\frac{7}{4} \dots \frac{7}{3}$

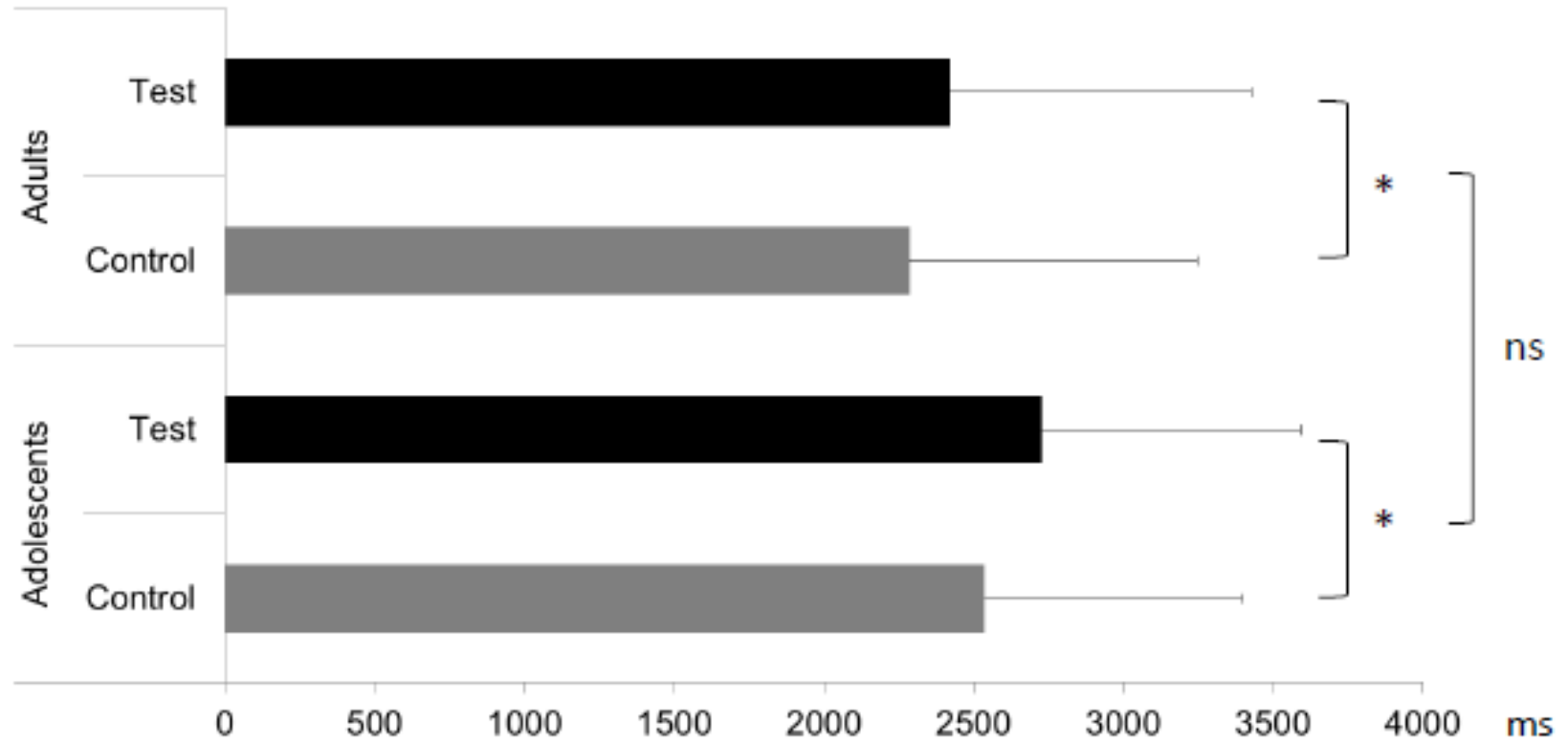


(Rossi et. al, 2019)

Sur le contrôle inhibiteur – D'autres études en labo

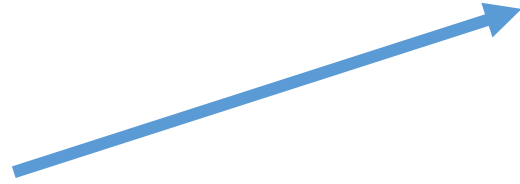
Comparaison de fractions

Qui est le plus grand ?
 $\frac{7}{4} \dots \frac{7}{3}$



(Rossi et. al, 2019)

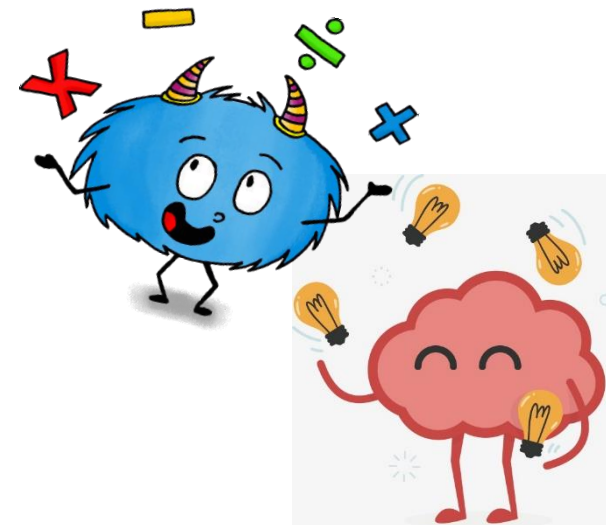
Un petit quizz



Neuroéducation ?



Trois exemples

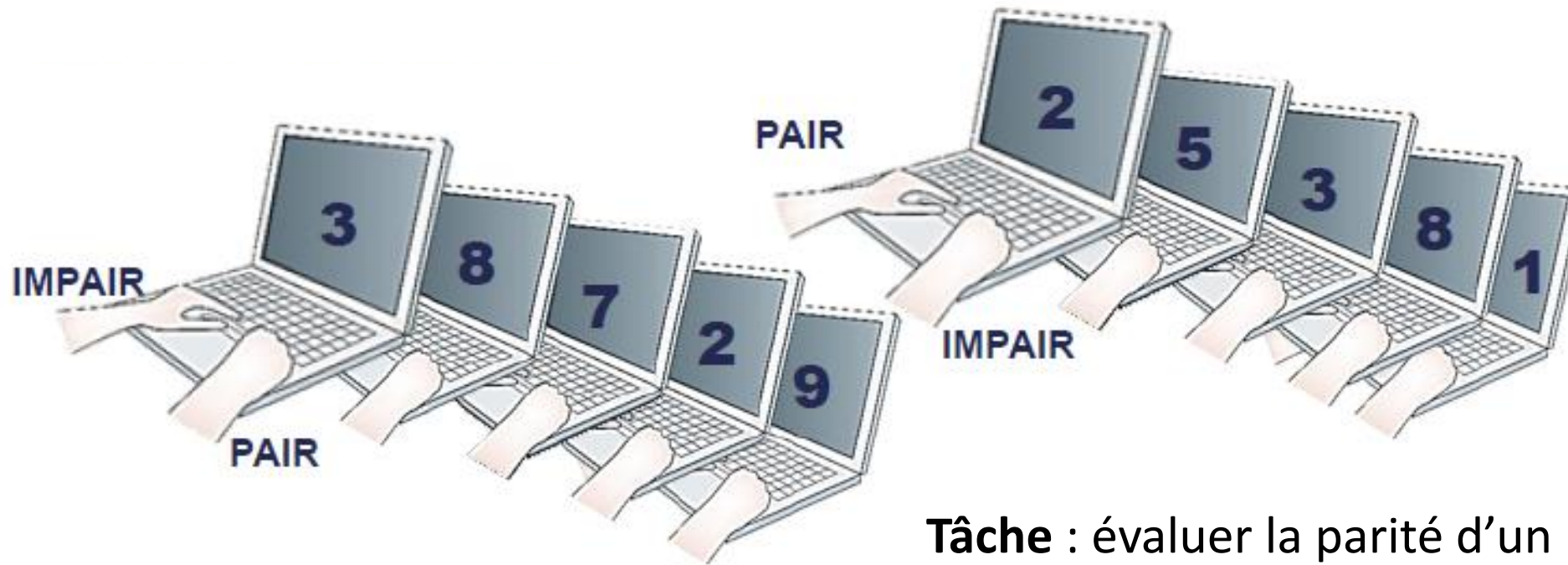


Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- Des recherches fondamentales – en laboratoire
- Des recherches appliquées pour évaluer des effets sur les apprentissages – en labo et en classe
 - Des apports de connaissances aux élèves en neurosciences cognitives
 - Des situations d'apprentissage basées sur des résultats en neurosciences cognitives
 - Sur le fonctionnement général du cerveau (par ex. fonctions exécutives)
 - Sur des mécanismes cérébraux spécifiques aux mathématiques (par ex. cognition numérique)



Nombres et espace – une petite expérience

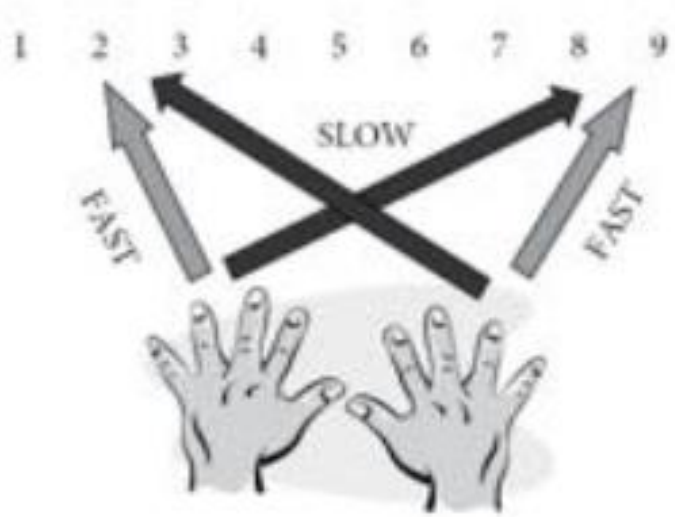
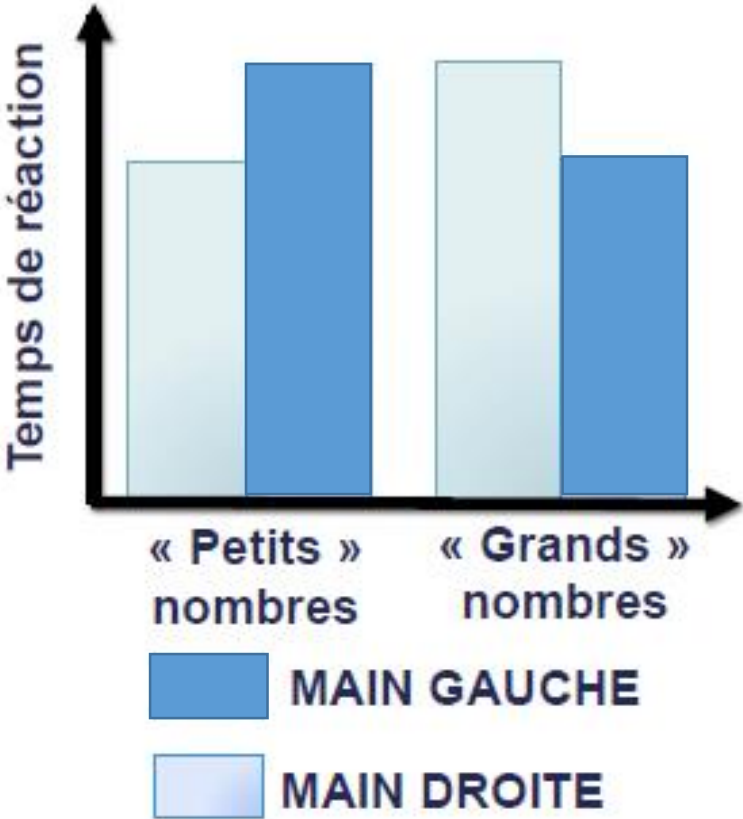


Tâche : évaluer la parité d'un nombre

Deux boutons réponse :

- Dans la première moitié de la tâche, paire = bouton droit, impair = bouton gauche
- Dans la deuxième moitié de la tâche, paire = bouton gauche, impair = bouton droit

Nombres et espace – une petite expérience



Effet SNARC
Spatial Numerical Association of Response Codes

(Dehaene et al., 1993 ; Hubbard et al., 2005)

Nombres et espace – Effet SNARC

Reflet de l'activation d'une représentation mentale de la grandeur des nombres dans l'espace.

Les petits nombres seraient associés avec l'espace gauche tandis que les grands nombres seraient associés avec l'espace droit.

La grandeur des nombres serait représentée mentalement dans l'espace sous la forme d'une ligne numérique orientée de gauche à droite, avec les plus petits nombres vers la gauche et les plus grands nombres vers la droite.

« Mental Number Line » ou « MNL »



Nombres et espace – Effet SNARC



(de Hevia et al., 2014)



(Adachi, 2014)

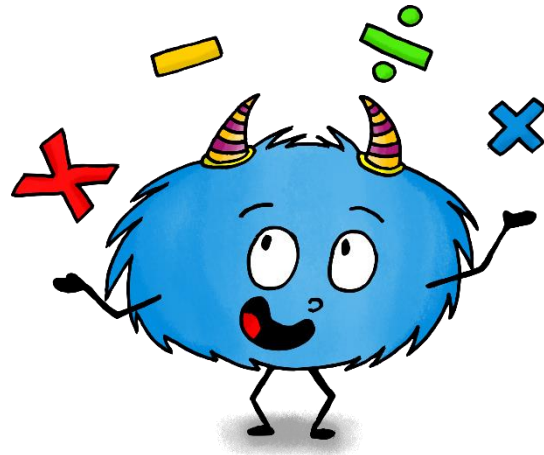


(Rugani et al., 2015)

→ Intuitions spatiales pour la représentations des nombres pourraient avoir une origine très ancienne d'un point de vue de l'évolution.

Nombres et espace – Arithmétique

L'arithmétique cognitive est un domaine de la psychologie cognitive qui s'intéresse aux processus mentaux sous-tendant le traitement des quatre opérations : addition, soustraction, multiplication, division.



A.N.A.E.
 APPROCHE NEUROPSYCHOLOGIQUE DES APPRENTISSAGES CHEZ L'ENFANT

N° 156

**L'arithmétique cognitive :
 de la recherche aux interventions**
 Coordonné par Catherine Thevenot (Université de Lausanne)
 et Michel Fayol (Université Clermont Auvergne)

Éditorial - Méditation, Montessori, ou comment des effets de mode dépassent des idées prometteuses *E. GENTIL*

DOSSIER

Avant-propos - L'arithmétique cognitive : de la recherche aux interventions *C. THEVENOT & M. FAYOL*
 Le comptage sur les doigts comme support au développement des capacités numériques et arithmétiques de base ? *X. SERON & V. COLLEEN*

De l'initiation numérique aux opérations arithmétiques : nature de leur relation, et défis de leur évaluation *M. GIBLAUME*

Rôle de l'estimation dans le développement des habiletés de discrimination

**L'arithmétique cognitive :
 de la recherche aux interventions**
 Coordonné par Catherine Thevenot (Université de Lausanne)
 et Michel Fayol (Université Clermont Auvergne)

N° 156 - NOVEMBRE 2018 - VOLUME 30 - TOME V
 Document non contractuel - les titres ainsi que les auteurs sont susceptibles d'être modifiés

Nombres et espace – Arithmétique

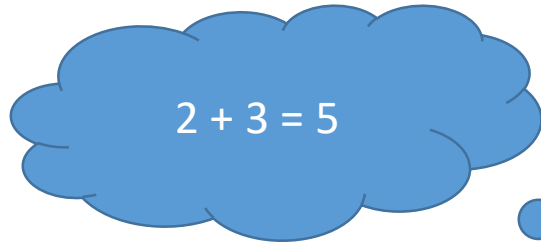
Une petite question...

Combien font $2 + 3$?

Comment avez-vous fait ?

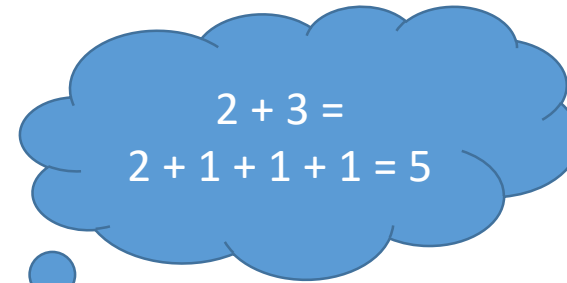
Nombres et espace – Arithmétique

Récupération du résultat en mémoire ?

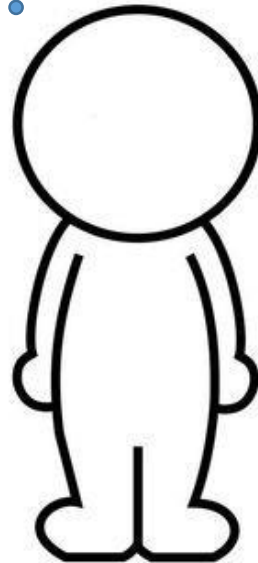


$2 + 3 = 5$

Procédure de calcul automatisée ?



$2 + 3 =$
 $2 + 1 + 1 + 1 = 5$



(Ashcraft, 1992)

(Fayol et Thevenot, 2012 ;
Barrouillet et Thevenot, 2013)

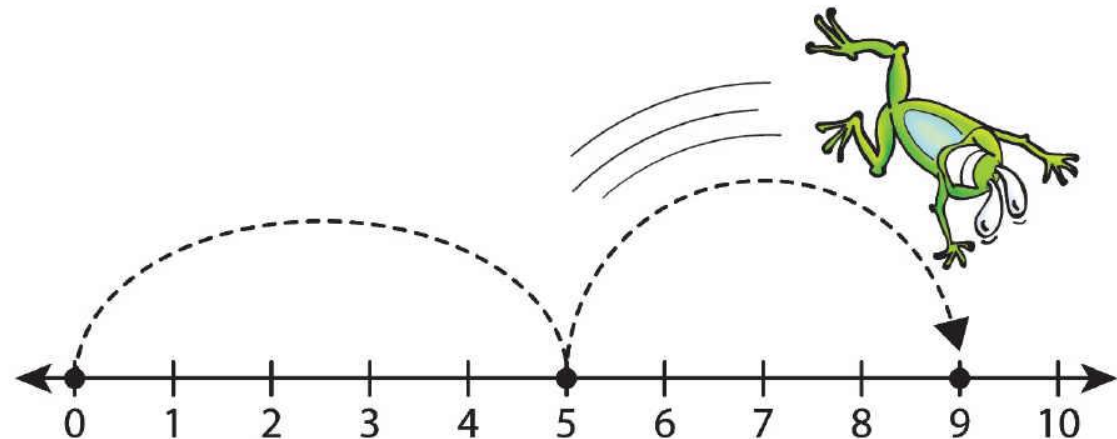
Nombres et espace – Arithmétique

Objectif de l'étude : tester si des déplacements attentionnels horizontaux (pouvant refléter des mouvements orientés le long de la MNL) s'opéraient pendant la résolution de problèmes arithmétiques à un chiffre (additions, soustractions, multiplications)

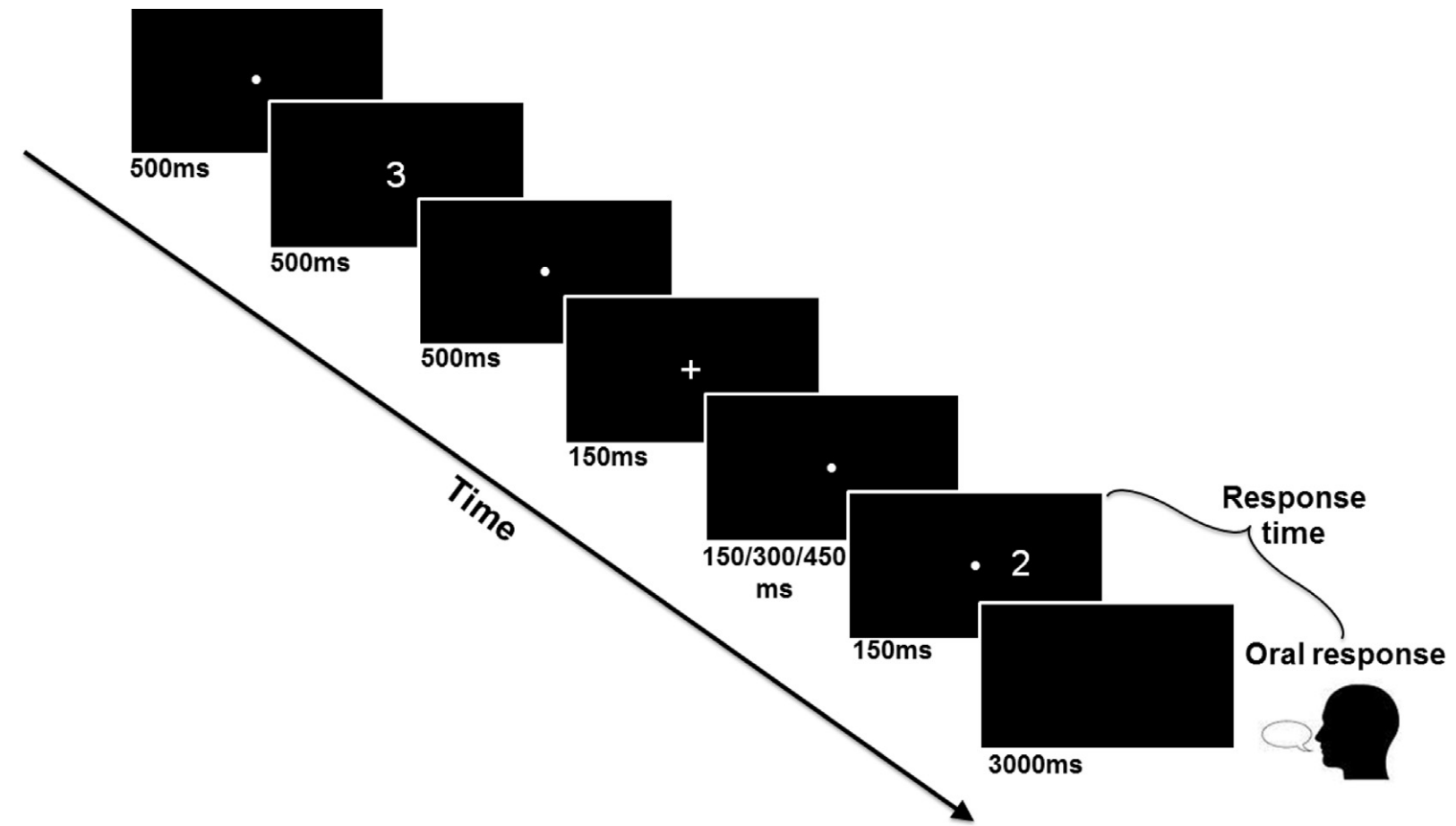
$$2 + 3$$

$$5 - 2$$

$$3 \times 4$$



Nombres et espace – Arithmétique



3

+

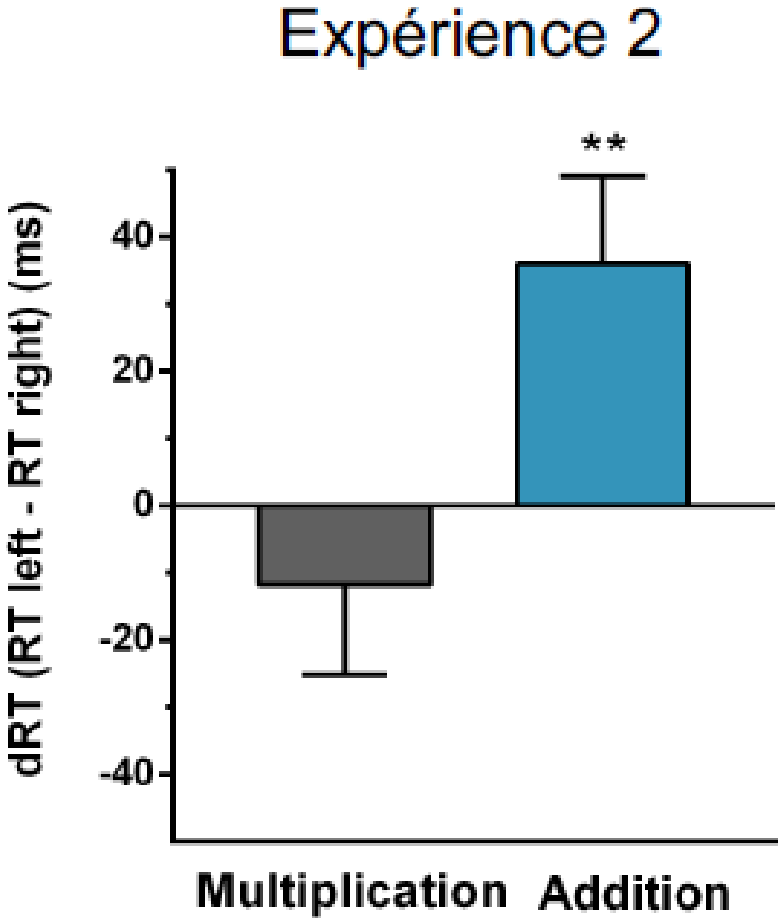
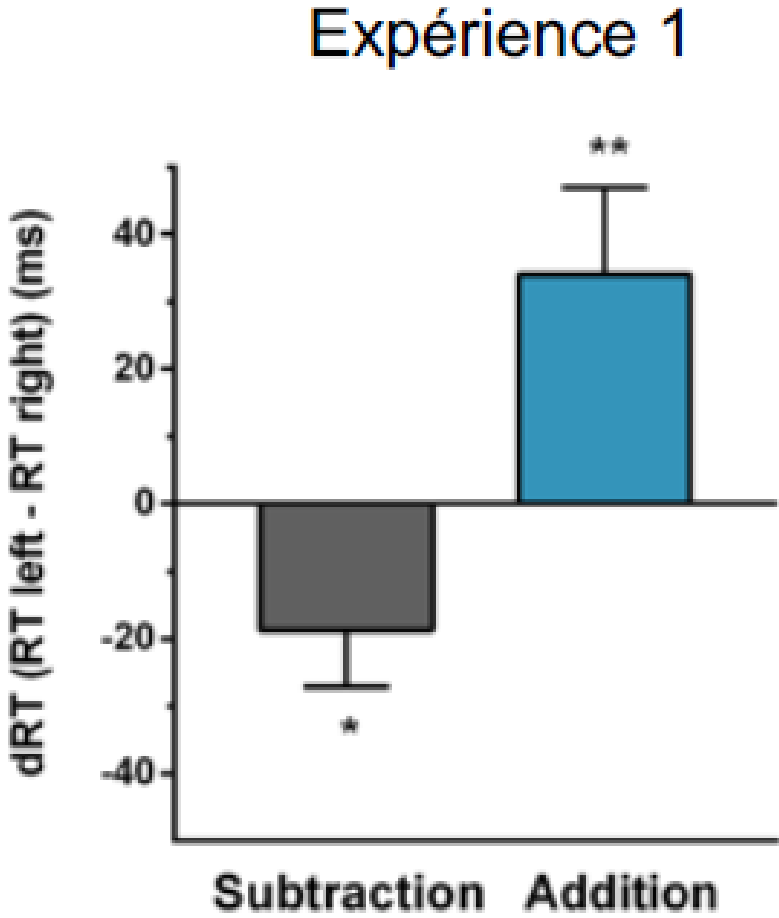
· 2

8

+

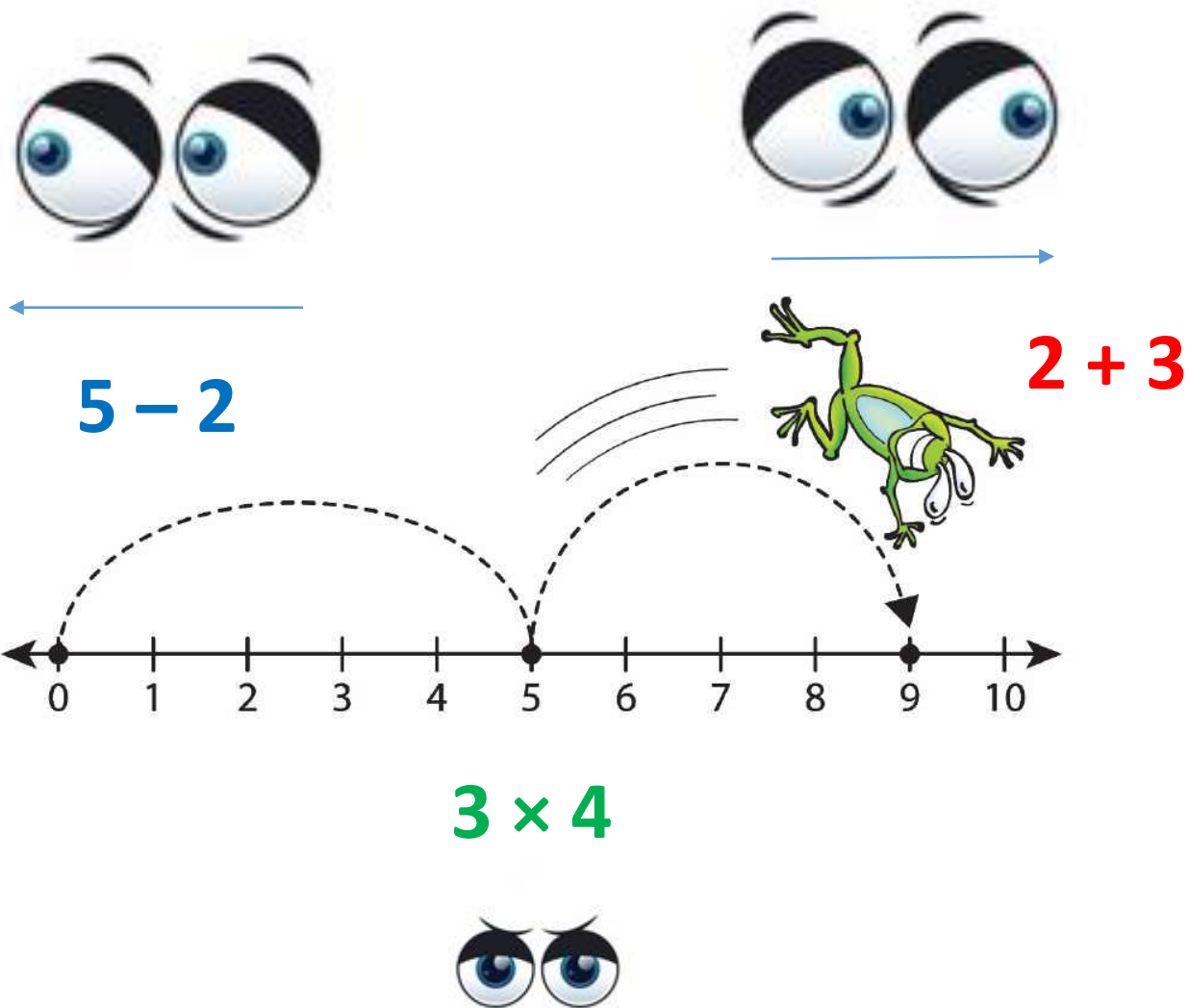
7 .

Nombres et espace – Arithmétique



(Mathieu, Gourjon, Couderc, Thevenot & Prado, 2015)

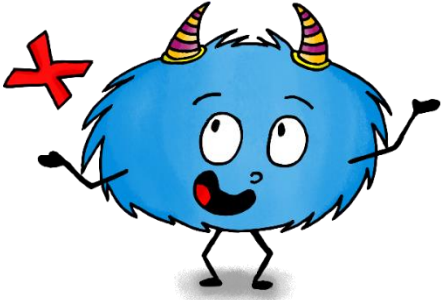
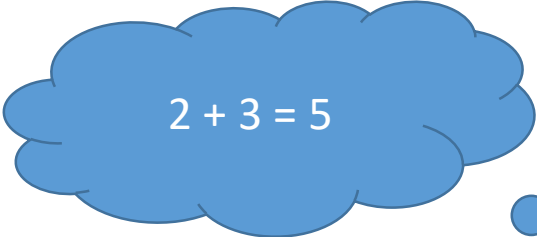
Nombres et espace – Arithmétique



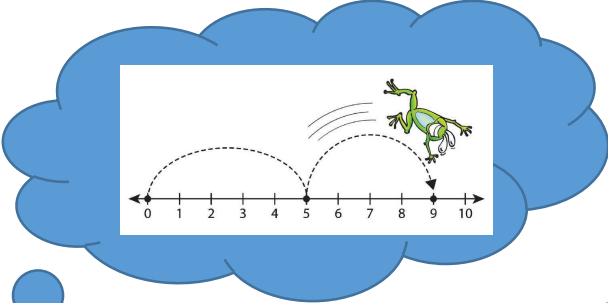
Soutient l'idée que les additions et les soustractions simples sont associées à des procédures spatiales automatisées qui s'apparenteraient à des mouvements attentionnels orientés le long de la MNL

Nombres et espace – Arithmétique

Récupération du résultat en mémoire



Procédure de calcul automatisée



→ Impact sur les apprentissages ?

Nombres et espace – Arithmétique

(a) Number Board Game



(b) Color Board Game



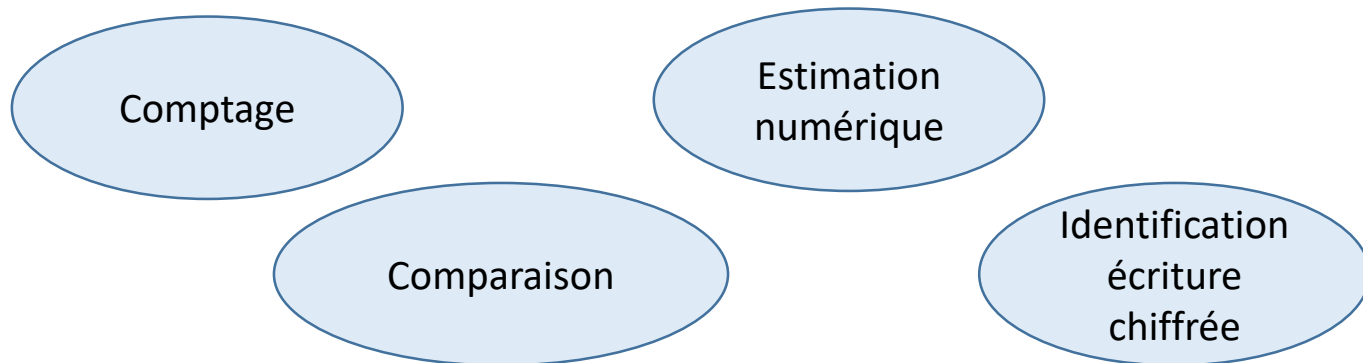
Etude Ramani & Siegler, 2008

124 enfants de 4 à 5 ans

2 groupes : Jeu numérique / Jeu couleurs

4 sessions de 15 à 20 min sur 2 semaines

5^e session 9 semaines après



Nombres et espace – Arithmétique

(a) Number Board Game

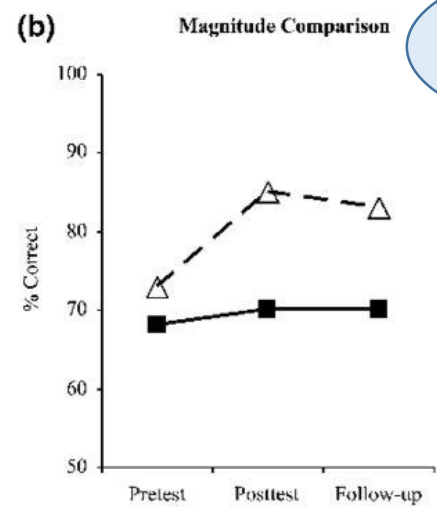
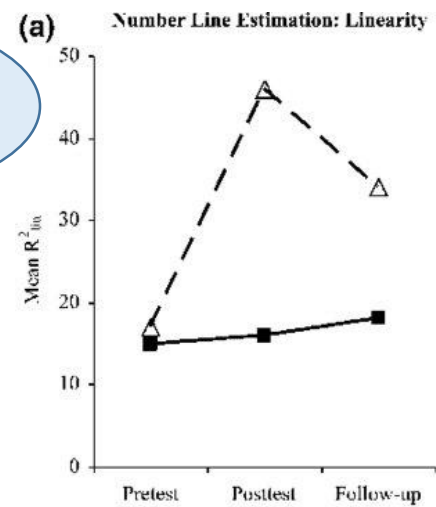


Estimation numérique

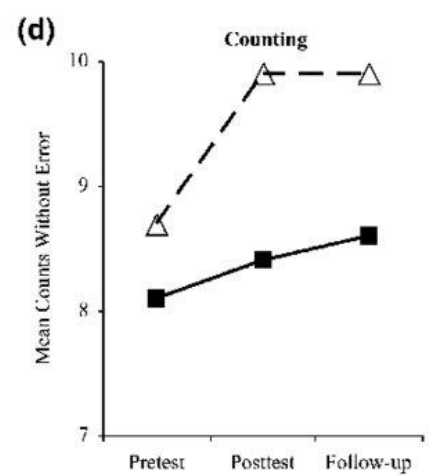
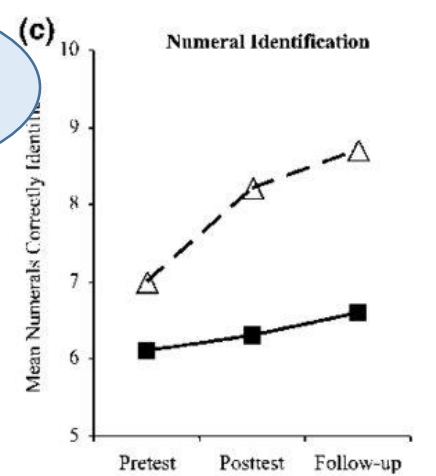
(b) Color Board Game



Identification écrite chiffrée



Comparaison



Comptage

-△ - Number Board Game - ■ - Color Board Game



Un quatrième point de vigilance pour les études en classe

- Des expériences menées par des chercheurs en neurosciences cognitives, en laboratoire, puis jusque dans la classe.
- Des recherches fondamentales, comportementales puis cérébrales, des applications en laboratoire puis en classe.

Progressivité, temps de la recherche

- Et ensuite ? A généraliser ? Si oui, comment ?

Retour sur l'[article](#) de E.Gentaz *Du labo à l'école : le délicat passage à l'échelle.*

Pour faire le point

Apports des recherches en neurosciences

- Identifier des contraintes cérébrales pouvant influencer les apprentissages scolaires (plasticité cérébrale et recyclage neuronal) ;
- Identifier et comprendre des neuromythes en éducation ;
- Renforcer la valeur scientifique d'autres approches (constructivistes, cognitivistes, didactiques ?) ;
- Identifier des approches pédagogiques potentiellement plus efficaces et comprendre pourquoi elles sont plus efficaces que d'autres ;
- *Établir une pédagogie fondée sur des données probantes*

Limites des recherches en neurosciences

Acteurs

- Recommandations « neuroscientifiques » très générales, parfois de bon sens
- Qui fait quoi ?

Méthodologies

- Résultats trouvés en laboratoire non directement applicables en classe
- Difficulté de faire des expériences directement en classe
- Test (trop) simple des apprentissages
- Qui conduit ces expérimentations ? Les enseignants ? Les chercheurs en sciences cognitives ?
- Analyse des contenus et des mises en œuvre dans les classes manquantes

Communication

- Qui « parle » aux enseignants ?

Exemples de recherches de l'équipe



Impact de la pédagogie Montessori sur les apprentissages en REP+

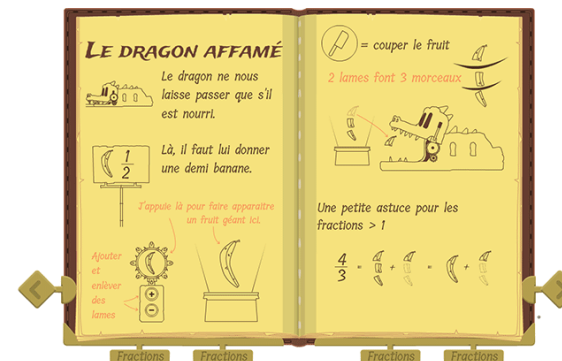


Etude transversale et longitudinale

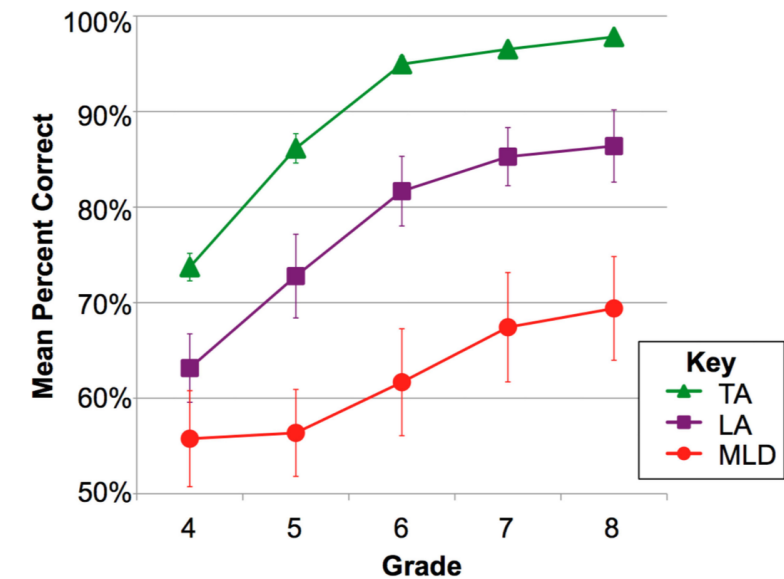
Croisements des regards en sciences cognitives et en didactique des mathématiques

Méthodologie croisée : des analyses didactiques pour PREDIRE et EXPLIQUER

Evaluer les effets de l'utilisation d'un jeu vidéo didactique sur l'apprentissage des fractions



Apprentissage des fractions et MLD



Le mot de la fin par Dehaene...

Quelques mots de prudence...

- Toute recherche scientifique présente une part d'incertitude
- Beaucoup des résultats de sciences cognitives et d'imagerie cérébrale sont récents et demandent à être confirmés.
- Même si les processus cognitifs de l'enfant étaient entièrement connus, on ne pourrait pas en déduire, directement, quelle est « la » méthode optimale d'enseignement.
- Par le passé, certaines tentatives de passage trop rapide de la connaissance scientifique à l'enseignement ont conduit à des erreurs. (L'idée de lecture globale est d'ailleurs issue de la psychologie: Cattell, Claparède, Piaget, Wallon)
- Les sciences cognitives ne prescrivent pas de méthode unique d'enseignement
- Elles peuvent, par contre, contribuer à **évaluer scientifiquement** l'efficacité de méthodes existantes.



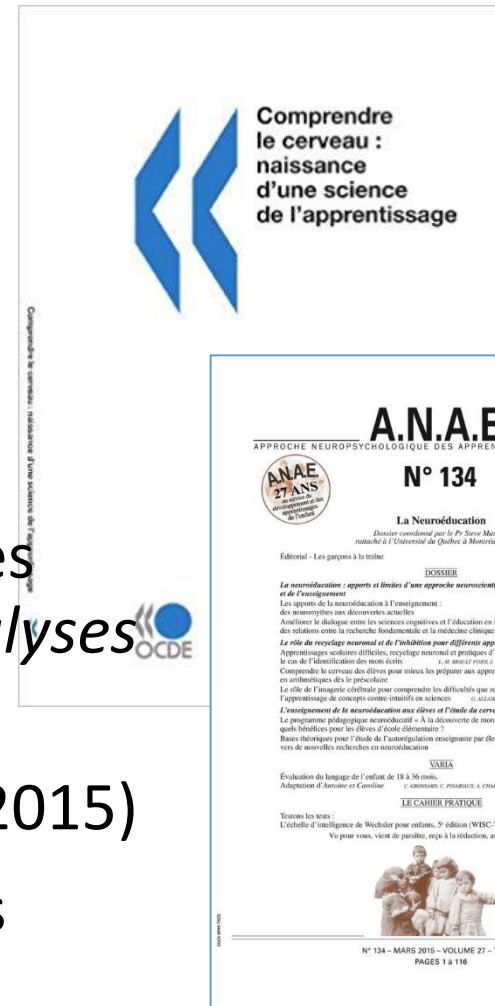
Merci pour votre attention !

Marie-Line GARDES

marie-line.gardes@univ-lyon1.fr

Références sur liens entre sciences cognitives et éducation

- OCDE (2007). *Comprendre le cerveau : naissance d'une nouvelle science de l'apprentissage*. Paris : Editions de l'OCDE
- Marie, G., & Catherine, R. (2013). *Neurosciences et éducation: la bataille des cerveaux. Dossier d'actualité Veille et Analyses IFÉ, (86)*.
- Dossier La Neuroéducation – ANAE 134 (2015)
- Dossier Neurosciences et pédagogie – Les Cahiers pédagogiques 527 (2016)



ifé Institut Français de l'Éducation

n° 86
Sept. 2013

Sommaire

- Page 2 : Ce qu'apportent les neurosciences à la compréhension des processus d'apprentissage ● Page 13 : Le cerveau à l'école ? ● Page 19 : Les neurosciences cognitives, un outil sollicité malgré tout ● Page 30 : Vers une nouvelle culture scientifique en éducation ? ● Page 33 : Bibliographie.

NEUROSCIENCES ET ÉDUCATION : LA BATAILLE DES CERVEAUX

Ce dossier inhabituel par son volume peut être lu à plusieurs niveaux, les encadrés constituant soit un support spécialisé (certains sont développés dans des articles publiés sur *Éduveille*), soit plus spécifiquement une illustration des croyances autour du cerveau, les neuromythes (également regroupés dans un article de blog). Vous trouverez ici la présentation de ce dossier ainsi qu'une liste des articles qui lui sont liés.

Nous tenons à remercier Bernard Lahire et Franck Ramus pour leurs conseils avisés.

Par Marie Causset et Catherine Reverdy

Chargées d'étude et de recherche au service Veille et Analyses de l'Éducation (IFÉ)

Le cerveau est sans doute à l'origine des financements colossaux investis en neurosciences de l'éducation s'invitent aujourd'hui dans la salle de classe. Sont-elles capables de rendre les pratiques enseignantes plus efficaces et d'aider les élèves à mieux apprendre ? Le débat suscite des passions autour des immenses potentialités évoquées dans de nombreux projets de recherche dédiés à l'identification des méthodes d'apprentissage, pour lesquelles la focalité serait faite sur le fonctionnement du cerveau. Neurosciences de l'éducation, esprit, cerveau et éducation ou encore neuro-éducation, le vocabulaire ne manque pas pour désigner cette « jeune science », dont l'objectif est de mieux faire connaître le cerveau et les processus cognitifs qui lui sont attachés. La fascination qu'exerce sur la société tout ce qui a trait au

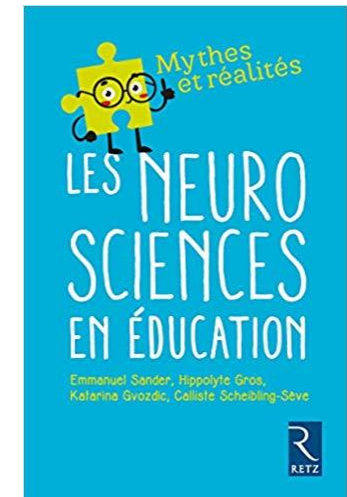
Interrogant le point de vue qui considère les neurosciences de l'éducation comme une science ou va rationnellement bouleverser nos manières d'apprendre, voire d'enseigner, nous avons souhaité dans ce dossier mettre en perspective ce que l'on sait aujourd'hui sur les relations entre cerveau et école.

Toutes les références bibliographiques citées dans ce Dossier sont accessibles sur notre [bibliothèque collaborative](#).

Dossier d'actualité VEILLE ET ANALYSES

Références sur les neuro-mythes

- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in psychology*, 3, 429.
- Masson, S. (2015). La neuroéducation : apports et limites d'une approche neuroscientifique de l'apprentissage et de l'enseignement. *ANAE*, 134, 11-22.
- Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths : Why Do They Exist and Persist? *Mind, Brain, and Education*, 6 (2), 89-96.
- Pasquinelli, E. (2015). *Mon cerveau, ce héros. Mythes et réalité*. Paris: Editions Le Pommier.
- Sander, E., Gros, H., Gvozdic, K., Scheibling-Sève, C. (2018). *Les neurosciences en éducation*. Retz.
- Site Internet de la Main à la pâte, articles rédigés par E. Pasquinelli : <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/34584/quest-ce-quun-neuromythe>



Références des études citées

Sur les neuro-mythes

- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in psychology, 3*, 429.
- Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris : Le Pommier.
- Landrum, T. J. & McDuffie, K. A. (2010). Learning styles in the age of differentiated instruction. *Exceptionality, 18* (1), 6-17.
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D. & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest, 9* (3), 105-119.

Sur Qu'est-ce que la neuroéducation ?

Gentaz, E. (2018). Du labo à l'école : le délicat passage à l'échelle. *La Recherche, 539*. En ligne : <https://www.larecherche.fr/sciences-cognitives/du-labo-%C3%A0-l-%C3%A9cole-le-d%C3%A9licat-passage-%C3%A0-l-%C3%A9chelle>

Lanoë, C., Lubin, A. & Rossi, S. (2015). Le programme pédagogique neuroéducatif « A la découverte de mon cerveau » : quels bénéfices pour les élèves d'école primaire ? *A.N.A.E, 27*(134), 56-62.

Masson, S. (2007). Enseigner les sciences en s'appuyant sur la neurodidactique des sciences. In P. Potvien, M. Riopel and S. Masson (Eds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences (pp. 308-321)*. Éditions MultiMondes.

Références sur le contrôle inhibiteur

- De Neys, W., Lubin, A., & Houdé, O. (2014). The smart nonconservers: Preschoolers detect their number conservation errors. *Child Development Research*, 2014.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive development*, 15(1), 63-73.
- Houdé, O. (2015). *Apprendre à résister*. Le Pommier.
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., ... & Delcroix, N. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of experimental child psychology*, 110(3), 332-346.
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A. & Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 55-84.
- Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O., & Borst, G. (2013). Inhibitory control is needed for the resolution of arithmetic word problems: A developmental negative priming study. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 701.
- Mischel, Walter; Ebbesen, Ebbe B. (1970). "Attention in delay of gratification". *Journal of Personality and Social Psychology*. 16 (2), 329–337.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1959). *La Genèse des Structures Logiques Élémentaires Classifications Et Sériations*.
- Poirel, N., Borst, G., Simon, G., Rossi, S., Cassotti, M., Pineau, A., & Houdé, O. (2012). Number conservation is related to children's prefrontal inhibitory control: an fMRI study of a Piagetian task. *PloS one*, 7(7), e40802.
- Roell, M., Viarouge, A., Houdé, O., & Borst, G. (2017). Inhibitory control and decimal number comparison in school-aged children. *PloS one*, 12(11), e0188276.
- Rossi, S., Vidal, J., Letang, M. Houdé, O & Borst, G. (2019). *Journal of Numerical Cognition*, 2019, Vol. 5(3), 314–336,

Références sur Nombres et espace

- Ashcraft, M. H. (1992). Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition*, 44(1-2), 75-106.
- Barrouillet, P., & Thevenot, C. (2013). On the problem-size effect in small additions: Can we really discard any counting-based account?. *Cognition*, 128(1), 35-44.
- de Hevia, M.D., et al. (2017). At Birth, Humans Associate “Few” with Left and “Many” with Right. *Current Biology*, 27(24), 3879-3884.
- Dehaene, S., Bossini, S. and Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396.
- Fayol, M., & Thevenot, C. (2012). The use of procedural knowledge in simple addition and subtraction problems. *Cognition*, 123(3), 392-403.
- Hubbard, E., et al. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nat Rev Neurosci*, 6(6), 435-48.
- Mathieu, R., Gourjon, A., Couderc, A., Thevenot, C., & Prado, J. (2016). Running the number line: Rapid shifts of attention in single-digit arithmetic. *Cognition*, 146, 229-239.
- Rugani, R., et al. (2015). Number-space mapping in the newborn chick resembles humans' mental number line. *Science*, 347(6221), 534-6.
- Siegler, R.S. and Ramani, G.B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental science*, 11(5), 655-661.