

Journée Régionale APMEP – Blois – 12 mars 2022



BBL

Mythes et réalités en neurosciences Quel apport des neurosciences cognitives pour l'enseignement des mathématiques ?



Marie-Line Gardes

Haute Ecole Pédagogique du Canton de Vaud
Lausanne, Suisse

Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon

marie-line.gardes@hepl.ch

BRAINetwork RESEARCH WORKSHOP

EMPOWERING EDUCATION THROUGH NEUROCOGNITIVE

NEUROEDUCATION

ARN

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

Institut de Neuro International

Découvrez les mystères du cerveau



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
08h30 - 12h00 / 14h00 - 18h00

Institut de Neurodidactique International
www.neuroeducation-ini.fr / ini@orange.fr

Emergence of Neuroeducation

2013 AMRI

Trends in & Neuroscience Education



2009

emery Bell Academy Nashville, TN

COLLOQUE INTERNATIONAL - SYMPOSIUM

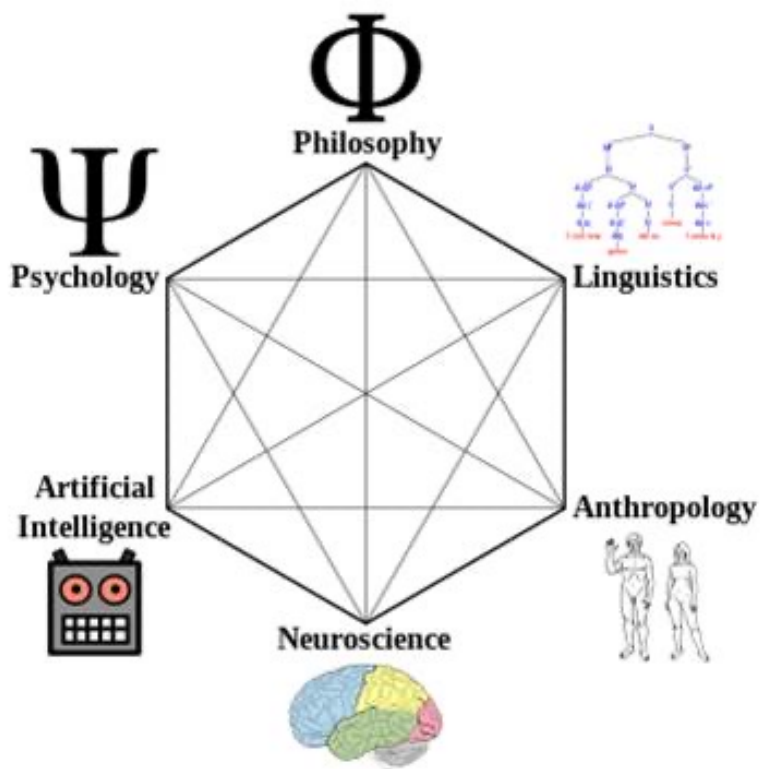
L'AVENTURE DES NEUROSCIENCES

DES TERRITOIRES DE LA RECHERCHE AUX DÉFIS DE L'ÉDUCATION

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

Neurosciences cognitives

Sciences cognitives

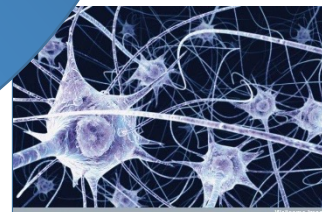


Neurosciences cognitives

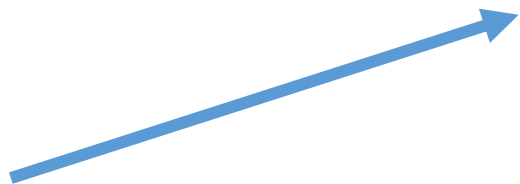
Ensemble des disciplines qui ont pour objets d'établir la nature des relations entre la cognition et le cerveau.

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 quiz



Neuroéducation ?



Deux exemples



Un petit **quiz**



Et chez les enseignants ?

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).

NEUROMYTHE
Une croyance erronée à propos du fonctionnement du cerveau.

Un petit quiz



Nous n'utilisons que 10% de notre cerveau ?

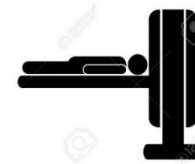


Des origines difficiles à identifier

Les hommes ne connaissent peut-être qu'une fraction de leur potentiel mental. (William James ≈ 1890)

L'homme moyen ne développerait que 10% de son potentiel mental. (Lowell Thomas ≈ 1936)

Lésions sans effet apparent



Recherches actuelles

- ✓ Toutes les parties du cerveau sont utilisées.
- ✓ Une majorité des régions sont actives tout le temps (Geake, 2008)



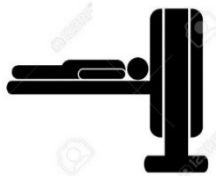
Profit : commercial, fiction



Un petit quiz



Les garçons ont un plus gros cerveau que les filles ?



Recherches actuelles

- ✓ Une méta-analyse américaine de 126 études :

Males have on average larger overall absolute volumes (i.e. not corrected for body size) in each volume category, ranging from 8% to 13% larger volume in males.

- ✓ Le cerveau des hommes et des femmes est différent :
 - dans le développement (volume cérébral)
 - dans la structure (certaines régions cérébrales n'ont pas le même volume)
- ✓ Hommes et femmes diffèrent dans les résultats à certains tests cognitifs
- ✓ **Des origines multiples** : éducation, stéréotypes, génétique, hormonale



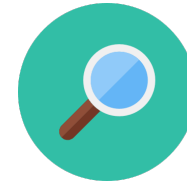
Il n'y a pas de lien entre taille du cerveau et intelligence !!

Un petit quiz



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

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



Distorsion de connaissances scientifiques

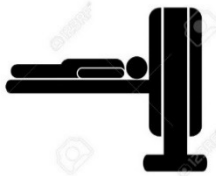
- ✓ Broca (1860s) : certaines fonctions du cerveau sont préférentiellement prises en charge par l'un ou l'autre des hémisphères.
- ✓ Sperry (1960s) : mise en évidence des asymétries fonctionnelles du cerveau par l'étude de patients ayant subi une lésion du *corps calleux*.

→ « Théorie des deux cerveaux »

Un petit quiz



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



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 réalisées pleinement et correctement.**

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

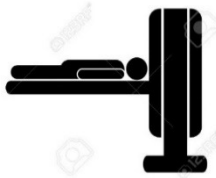
espace

la perception générale de l'espace

Un petit quiz



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



Recherches actuelles

[...] our data are not consistent with a whole-brain phenotype of greater “left-brained” or greater “right-brained” network strength across individuals

An Evaluation of the Left-Brain vs. Right-Brain Hypothesis with Resting State Functional Connectivity Magnetic Resonance Imaging


August 2013 · PLoS ONE 8(8):e71275

DOI: [10.1371/journal.pone.0071275](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071275)

Source · [PubMed](#)

License · [CC BY 4.0](#)

 Jared A Nielsen ·  Brandon A Zielinski ·  Michael A Ferguson · [Show all 5 authors](#) ·

 Jeffrey S Anderson

Un petit quiz



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



Profit : Commercial,
secte...



L'intuition et l'hémisphère droit du cerveau



Comme je vous le promettais dans l'article précédent, nous allons aujourd'hui faire un exercice qui permet de solliciter et faire travailler l'hémisphère droit du cerveau afin de développer son intuition qui va nous aider à améliorer notre clairvoyance.

L'hémisphère droit du cerveau commande la partie gauche de votre corps, on le considère comme étant réceptif et intuitif. Le cerveau gauche, quant à lui, gère le côté droit du corps et concerne les aspects mathématiques, cartésiens et concrets. Notre humanité fonctionne davantage avec le cerveau gauche, constamment à la recherche de gains, toujours dans

la compétition.

https://test.psychologies.com/tests-psycho/tests-memoire-et-cerveau/Etes-vous-cerv...

MANAGER/ISC backup Portail Orange : Actu, ... Size Radio - en ligne s... Université Lyon1 L'Attrape-Nombres - J...

PSYCHOLOGIES


Rechercher

LES APLIS MOBILES | BOUTIQUE | ABONNEMENT

Moi Couple Famille Thérapies Bien-être Beauté Nutrition Planète Travail Culture **Tests**

TESTS MOI TESTS COUPLE TESTS PSYCHO TESTS QI TESTS TRAVAIL TESTS FAMILLE TESTS NUTRITION TESTS BEAUTE TESTS BIEN-ETRE TESTS CULTURE TESTS PLANETE

Accueil » Tests psycho » Tests mémoire et cerveau » Etes-vous cerveau droit ou cerveau gauche ?



Etes-vous
cerveau droit
ou cerveau
gauche ?

istock

https://www.letudiant.fr/test/psycho/myself-co/etes-vous-plutot-cerveau-gauche-ou-cerveau-c

Mathématiques - La S... Les plus visités MANAGER/ISC backup Portail Orange : Actu, ... Size Radio - en ligne s... Université Lyon1 L'Attrape-Nombres - J... La course aux nombre... CNRS - DGDR - A

l'Étudiant COLLÈGE LYCÉE SUPÉRIEUR ALTERNANCE BAC EXAMENS MÉTIERS JOBS, STAGES, EMPLOI SALONS LIFESTYLE

SALONS # PARCOURSUP # PRÉPAS # ORIENTATIO **+ Tests d'orientation** Offres de jobs, stages • Palmarès • Coaching Orientation

f | t | in

? Test Psycho

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 ?



Cartouches authentiques HP.
Conçues pour protéger votre imprimante.

HP 302 Pack de 2 cartouches - 1 cartouch...

★★★★☆ 1.023

25,99 € **prime**

En savoir plus

Un petit quiz

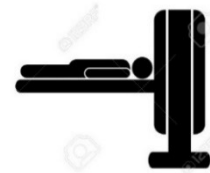


Faire des exercices de coordination améliore
l'apprentissage ?



Des connaissances dépassées

- ✓ Les difficultés d'apprentissage naissent essentiellement de déséquilibres du cerveau
- ✓ Idée de la dominance hémisphérique



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.**

Un petit quiz

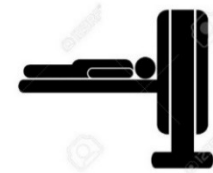


ces de coordination améliore l'apprentissage ?



- ✓ Les
- es
- ce
- ✓ Id

Aucune étude ne valide les prétentions du programme !



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.**

Un petit quiz



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



Distorsion de connaissances scientifiques

Présumé 1 : puisque chaque apprenant a un cerveau unique, il a également une modalité préférée

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

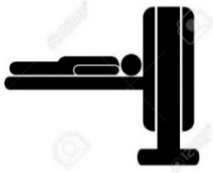


- ✓ Des méthodes qui prennent en compte les spécificités de chaque élève
- ✓ Des enjeux financiers : déceler et exploiter ces styles...proposer des ressources
- ✓ Fondé sur une conception platonicienne du monde. Phénomène de catégorisation : il existe des types d'individus

Un petit quiz



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



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)

Des explications

- ✓ D'un côté, possibilité d'apprentissages personnalisés pour les élèves ; MAIS d'un autre côté négation des spécificités individuelles liées aux expériences propres (type)
- ✓ Des méthodes qui exagèrent les spécificités au détriment du processus qui pourraient être fédérateurs : apprentissages multimodaux
- ✓ Matière à enseigner et possibilités de l'enseigner ?

Un petit quiz

Vrai et
Faux !

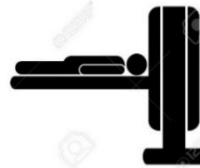
Nous avons tous ici la bosse des maths ?



Des connaissances
dépassées

Franz-Joseph Gall : la *phrénologie*

- caractère et les capacités mentales d'un individu pouvaient se traduire par une forme particulière de son crâne.
- a donné l'expression « bosse des maths »
- Plus de sens physique mais une idée sous-jacente : *certaines personnes sont naturellement fortes en maths et d'autres non.*



Recherches actuelles

- ✓ Les mathématiques sollicitent plusieurs faisceaux de neurones, dans différentes zones du cerveau. (Dehaene, 2010)
- ✓ Mêmes aires cérébrales activées chez un mathématicien qu'un universitaire non mathématicien dans la résolution d'un problème mathématique. (Dehaene & Amalric, 2016)
- ✓ La "zone des maths" serait ainsi présente chez tous les individus, dès la naissance, et se développerait à force de pratique et d'entraînement. (Dehaene, 2010)

STANISLAS DEHAENE

LA BOSSE DES MATHS



EDITIONS
ODILE JACOBS
Sciences

Et chez les enseignants ?

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).

(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

Bilan - Neuro-mythes

(Pasquinelli, 2012)

Une croyance erronée à propos du fonctionnement du cerveau.

Que faire ?

- ✓ Diffuser et enseigner des connaissances scientifiques
- ✓ Diffusion de résultats robustes
- ✓ Développer l'esprit critique, la culture scientifique
- ✓ Impliquer les chercheurs dans la médiation scientifique
- ✓ Faire des recherches à l'interaction des sciences cognitives et de l'éducation

Risques

Exemple : utiliser des méthodes dont les effets ne sont pas prouvés et se détourner d'autres méthodes potentiellement plus efficaces

Empêcher une rencontre entre recherche en sciences cognitives et éducation

Origine

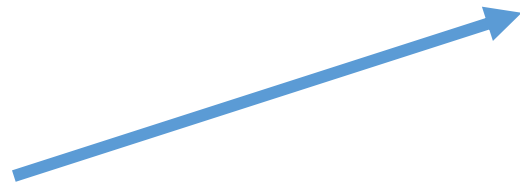
- ✓ Simplification, mécompréhension de connaissances scientifiques
- ✓ Interprétation guidée par des biais de raisonnements, des illusions, de faux espoirs.



Persistence

- ✓ Des conditions culturelles spécifiques : la circulation des informations sur le cerveau et l'intérêt pour elles.
- ✓ Trois principaux défauts susceptibles d'alimenter les neuromythes : la tendance à **diffuser des informations non pertinentes** ; le **sensationalisme** et l'**omission d'informations pertinentes**.

Un petit **quiz**



Neuroéducation ?



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.

Exemple 4 :

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.

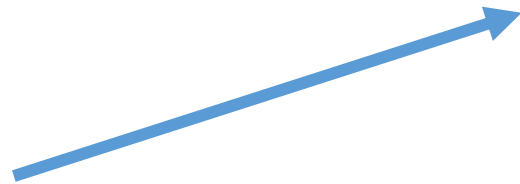


Premier point de vigilance sur les études en classe

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 quiz



Neuroéducation ?



Deux exemples

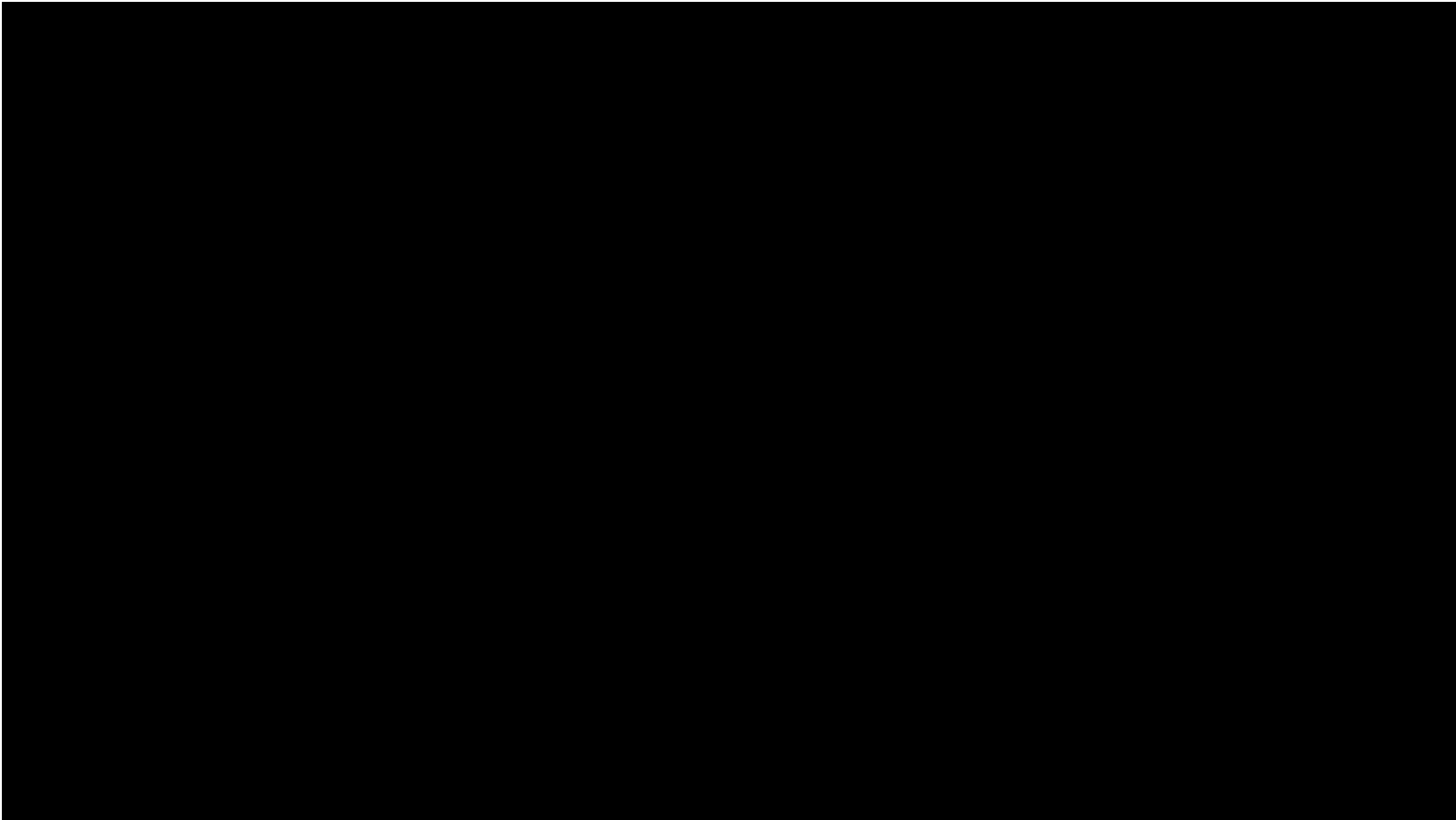


Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- 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)

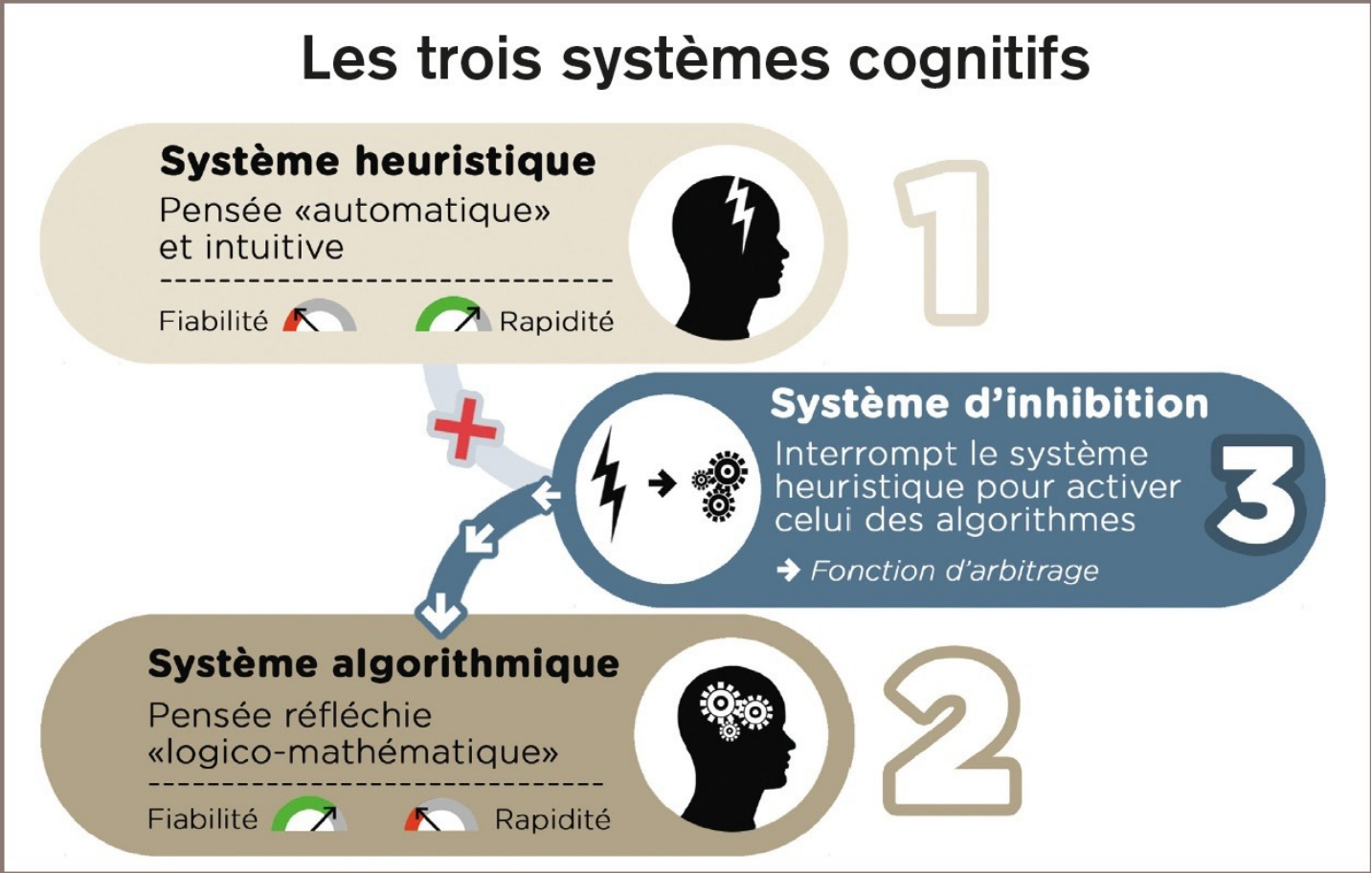


Le test du Chamallow

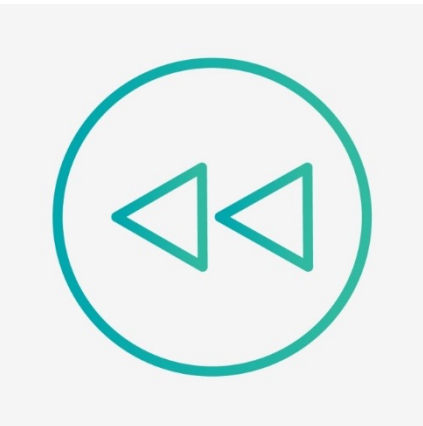


Le contrôle inhibiteur

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



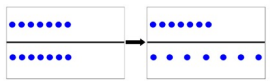
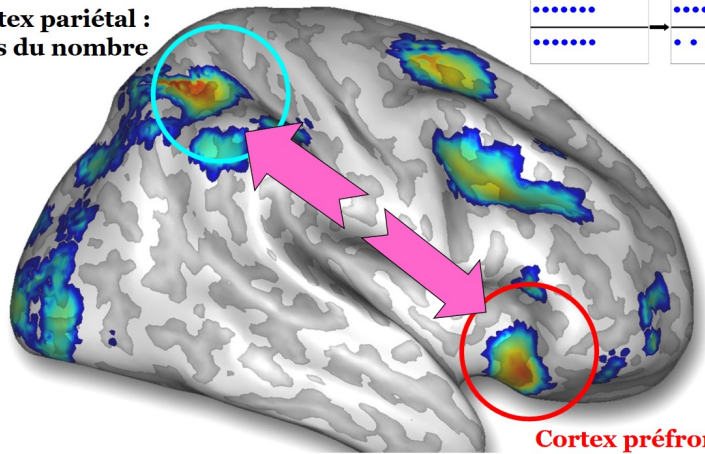
- Réussite **dès 2 ans** de l'épreuve piagétienne modifiée de conservation de nombre
- Influence du contexte pragmatique de l'interaction sur le comportement des enfants

- 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

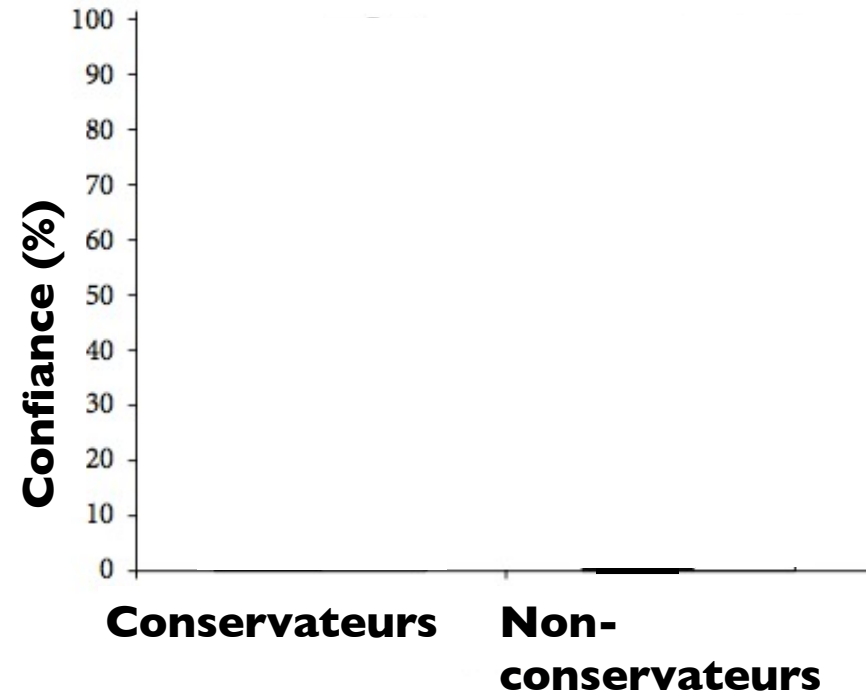
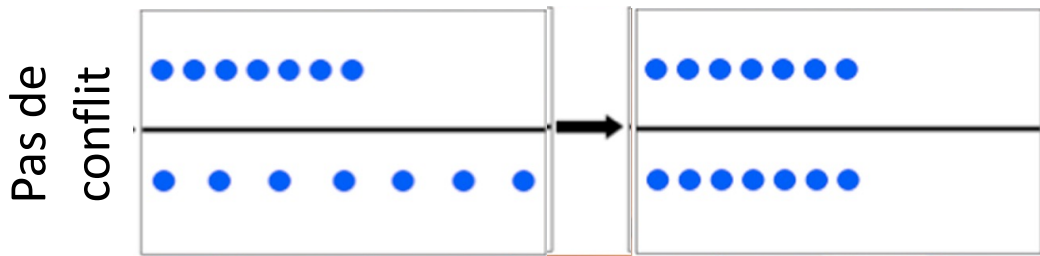
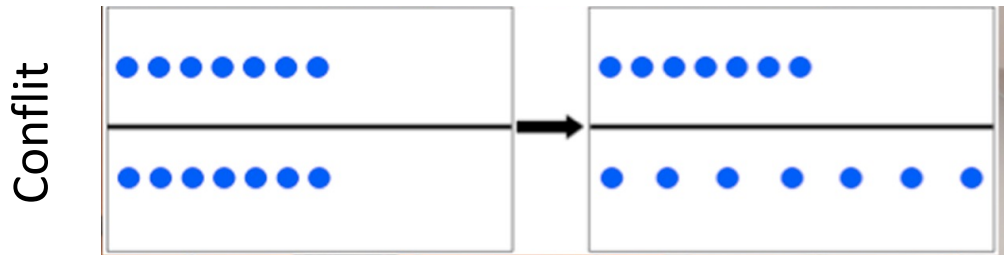
Les échecs sur les tâches de Piaget seraient plus dus à des fonctions exécutives limitées qu'à un défaut de logique.

Cortex pariétal :
sens du nombre



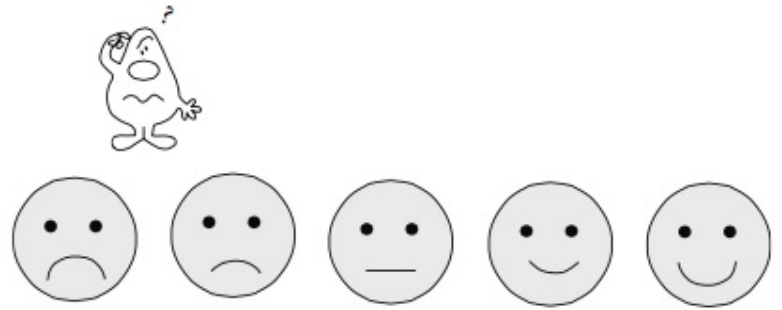
Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences

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



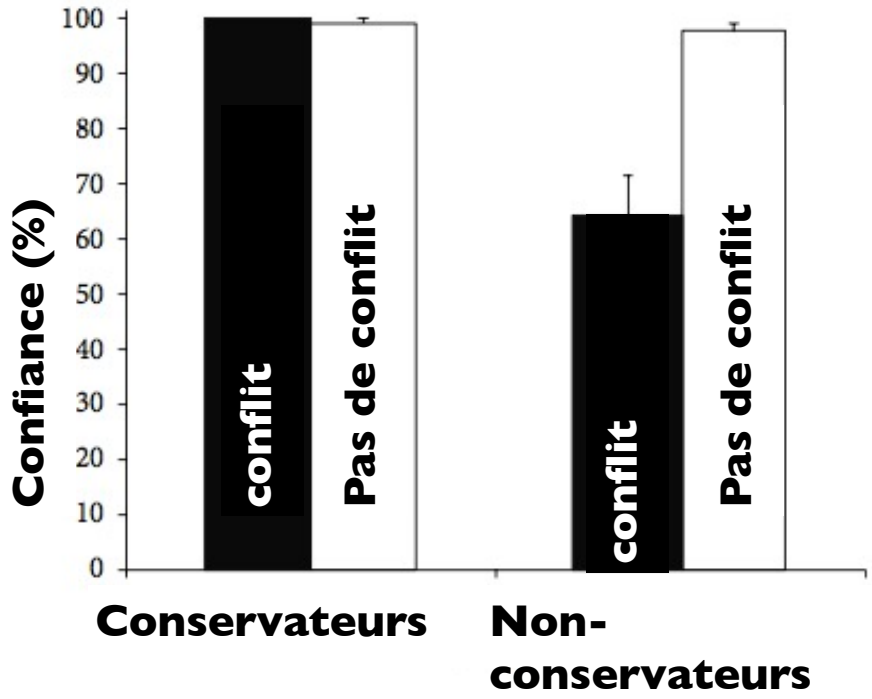
Sur le contrôle inhibiteur – Apport des neurosciences

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 ROSSJ^{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 a 30 brindilles et Kévin a 4 fagots.
Qui a le plus de brindilles ?

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 ?

Apprentissage à l'inhibition

Je compare sans vérifier

Si ce n'est pas pareil :
je transforme !

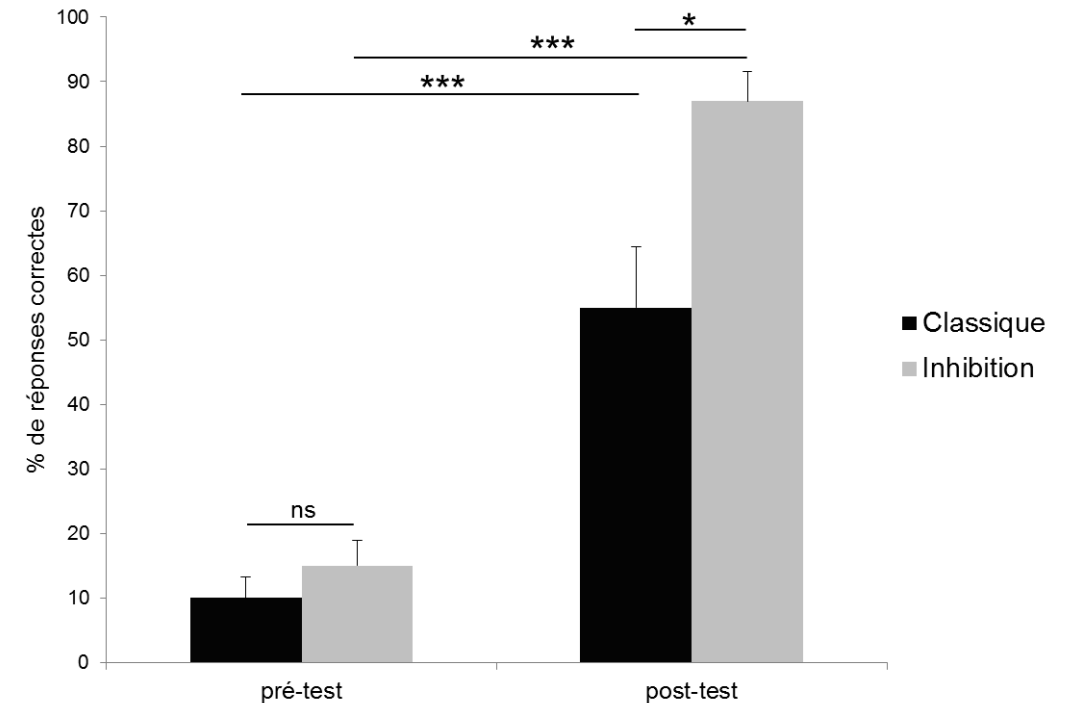
Si c'est pareil :
je compare.

Apprentissage classique

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.

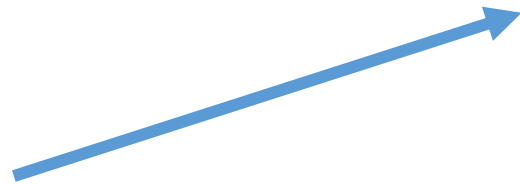




Un deuxième point de vigilance pour les études en classe

- 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.

Un petit quiz



Neuroéducation ?

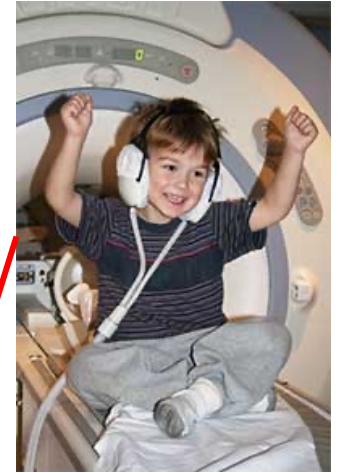


Deux exemples

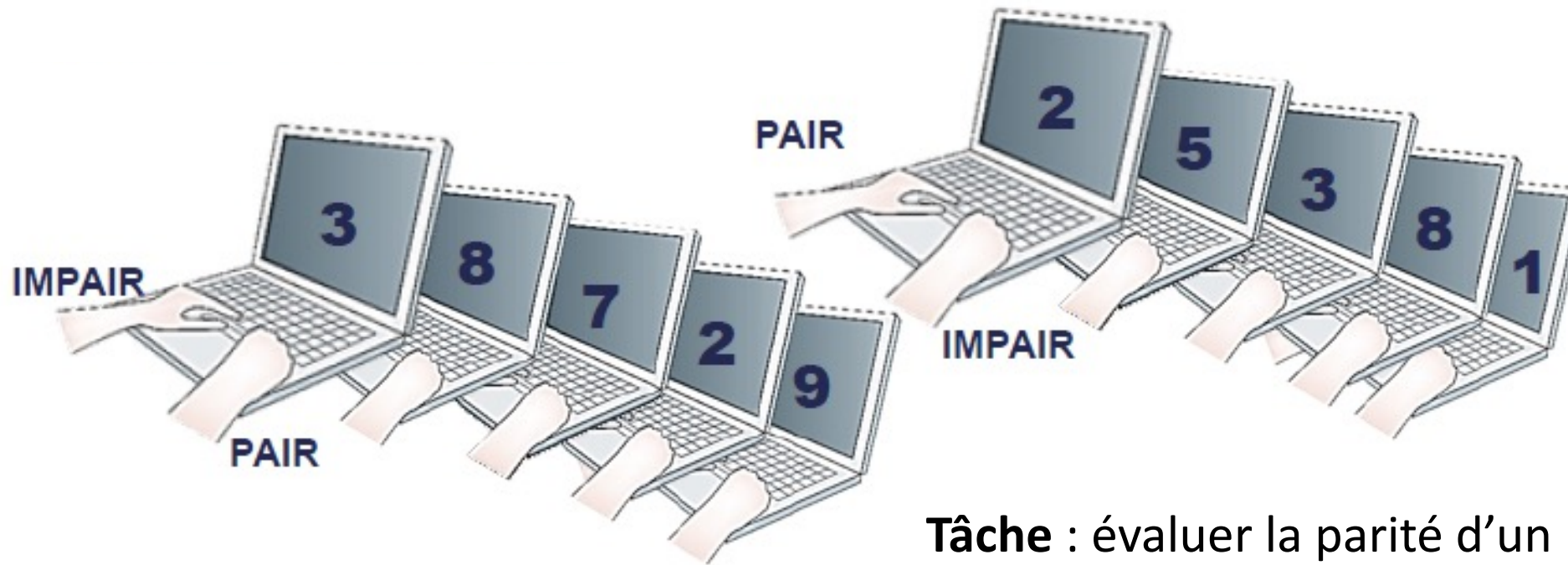


Qu'est-ce qu'une recherche en neuroéducation ?

- 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

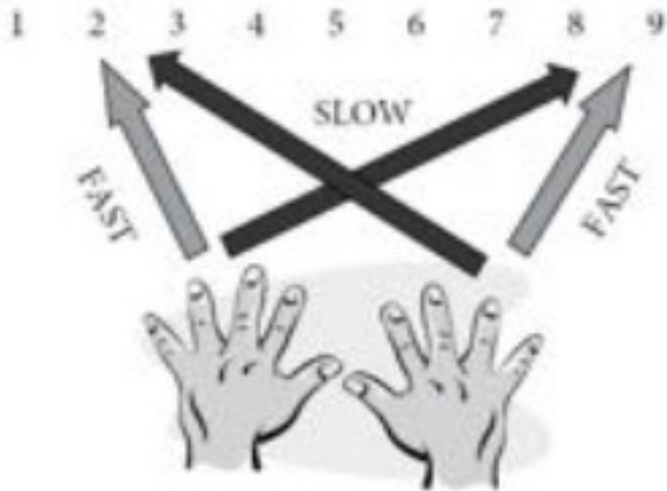
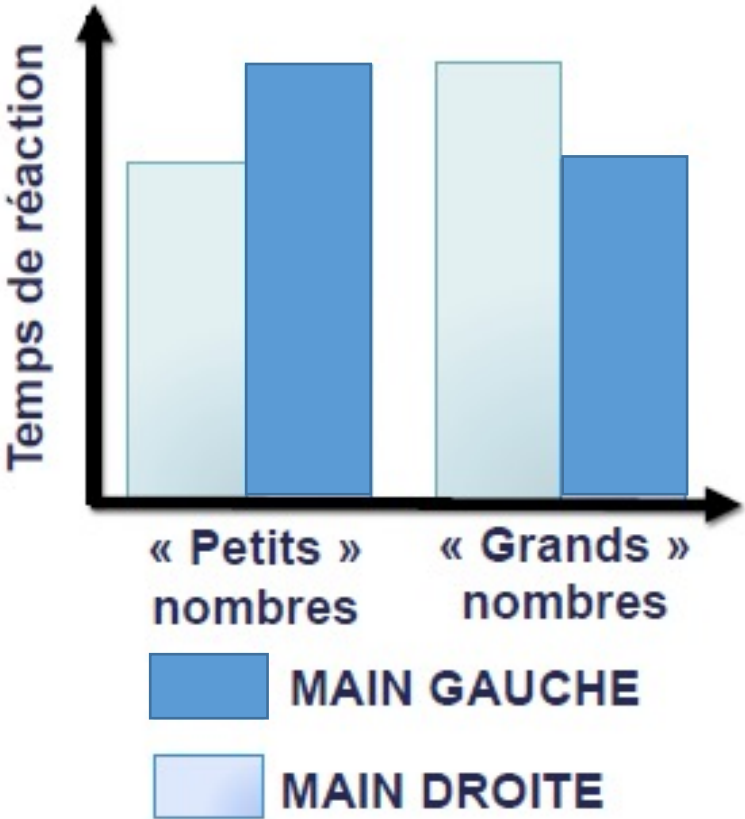


Tâche : évaluer la parité d'un nombre

Deux boutons réponse :

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

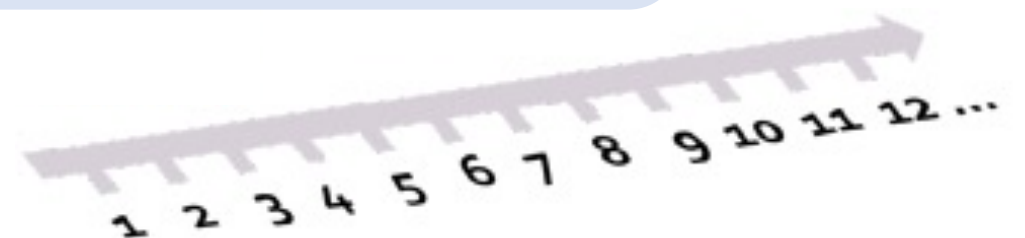
Nombres et espace – Effet SNARC

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)

Editorial - 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

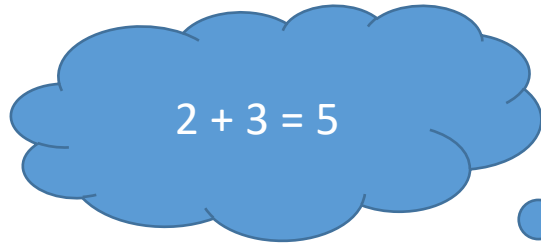
Une petite question...

Combien font $2 + 3$?

Comment avez-vous fait ?

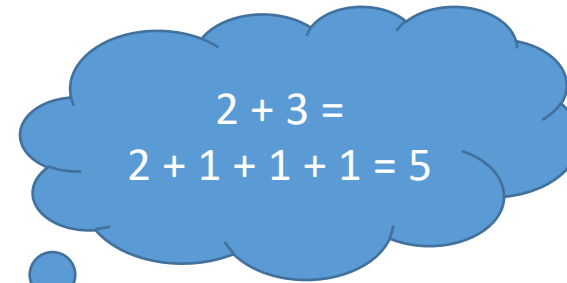
Nombres et espace – Arithmétique

Récupération du résultat en mémoire ?

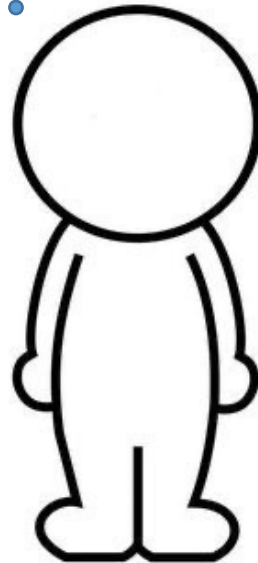


$2 + 3 = 5$

Procédure de calcul automatisée ?



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



(Ashcraft, 1992)

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

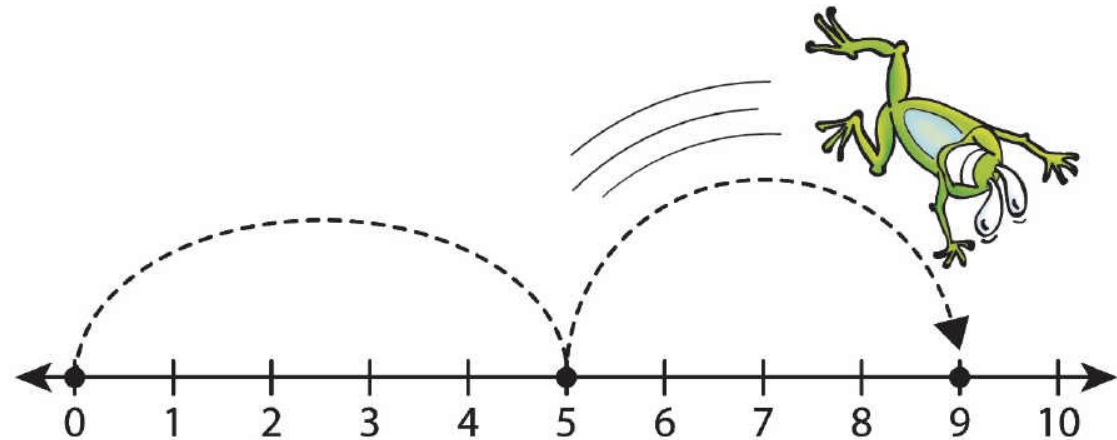
Nombres et espace – Arithmétique

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)

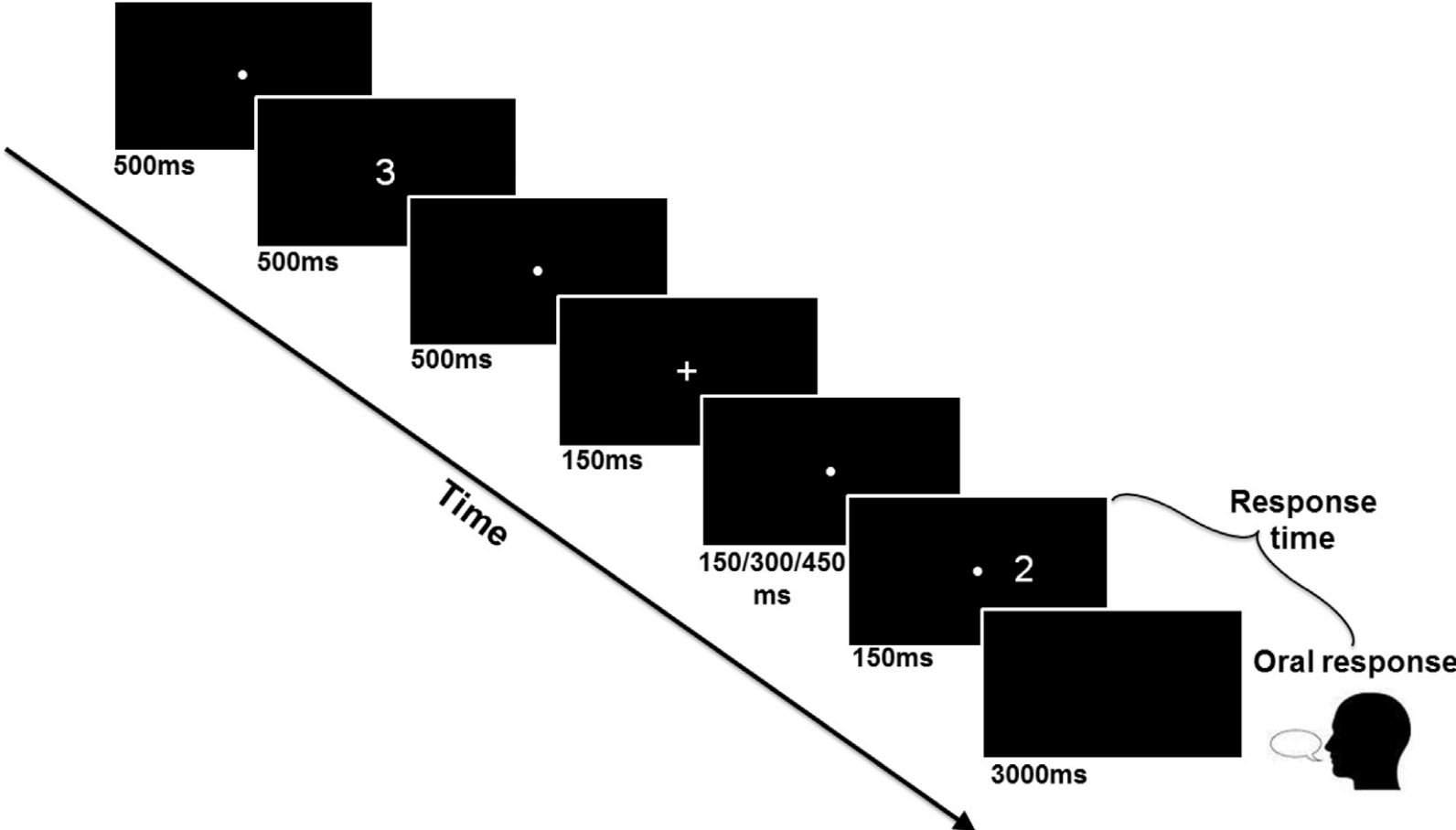
$$2 + 3$$

$$5 - 2$$

$$3 \times 4$$



Nombres et espace – Arithmétique



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



3



+



• 2



8

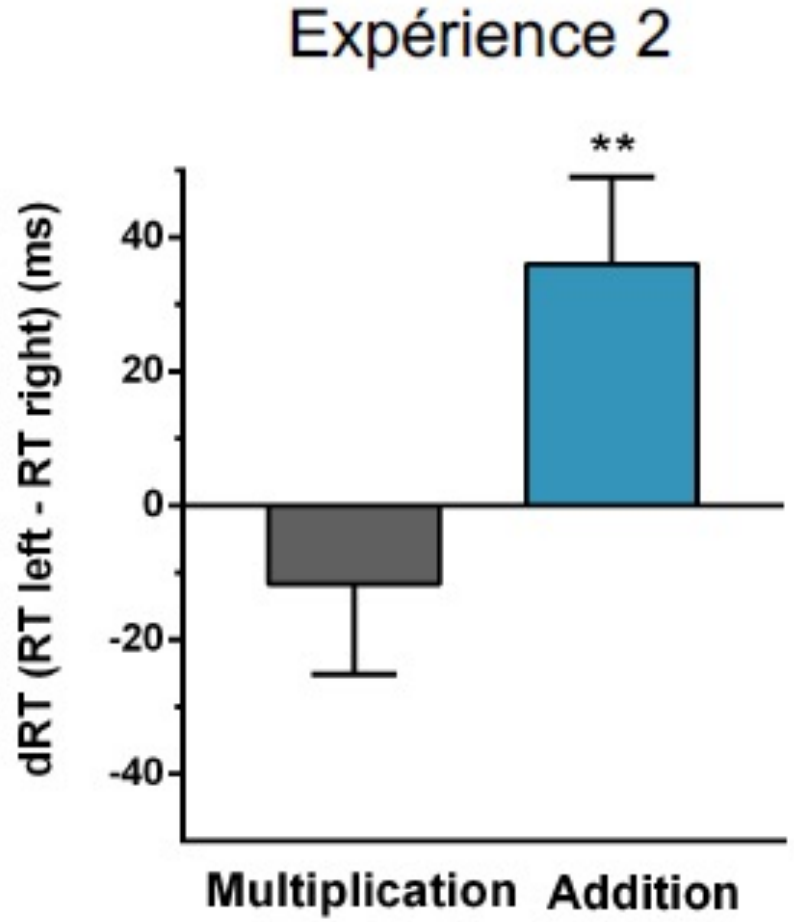
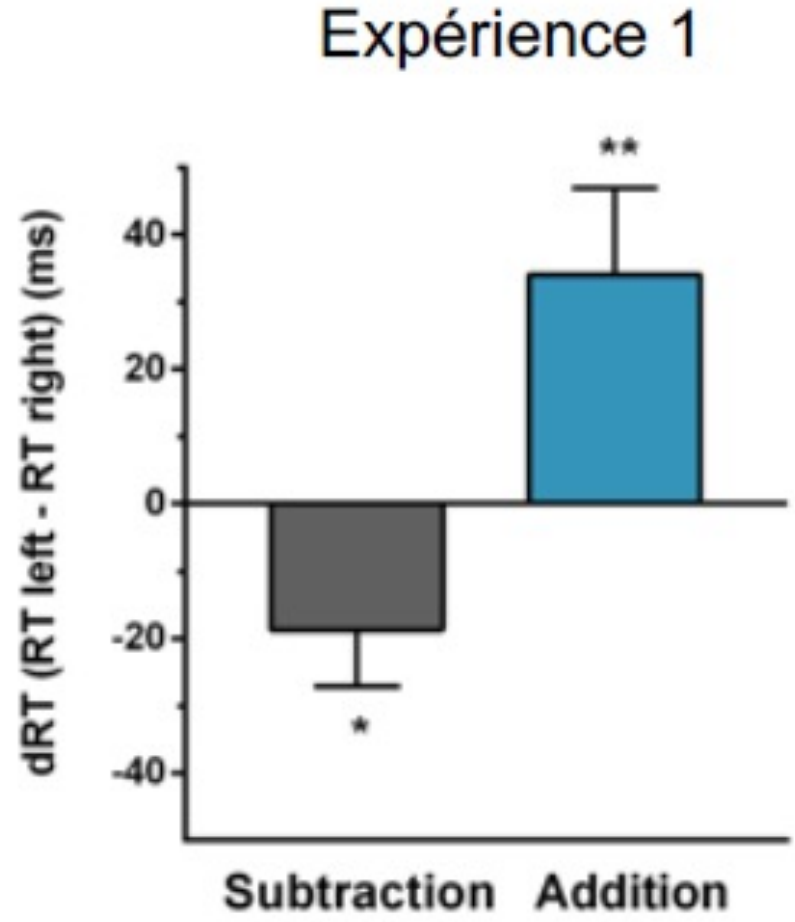


+



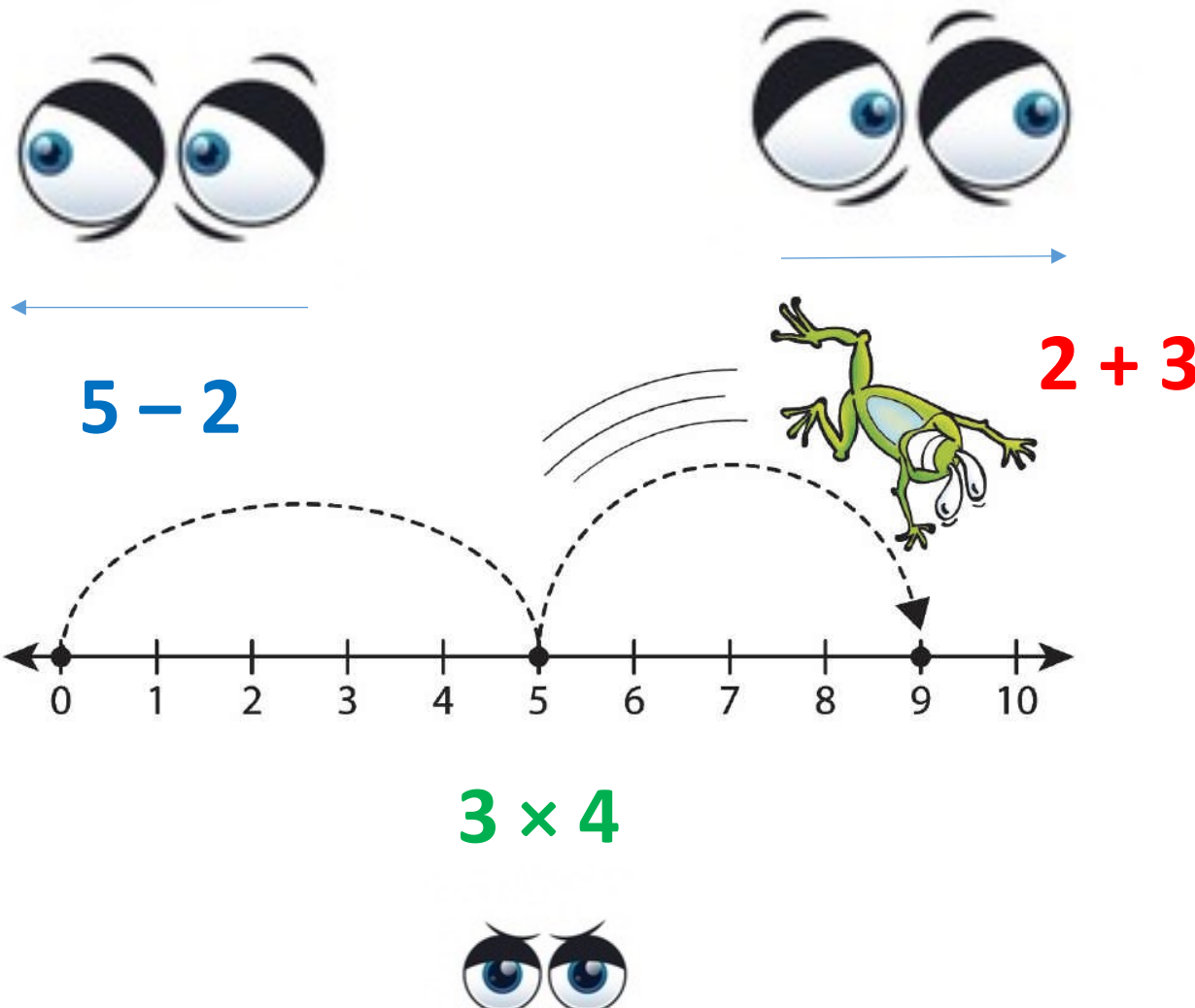
7 .

Nombres et espace – Arithmétique



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

Nombres et espace – Arithmétique

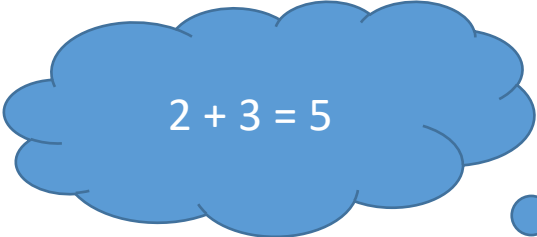


Soutient l'idée que les additions et les soustractions simples sont associées à des procédures spatiales automatisées qui s'apparenteraient à des mouvements attentionnels orientés le long de la MNL

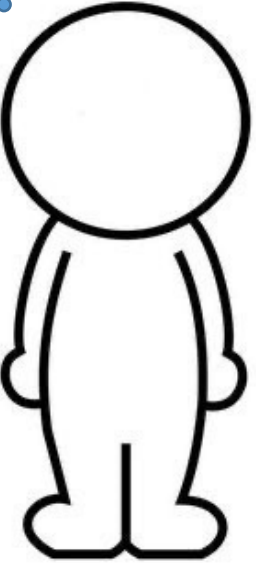
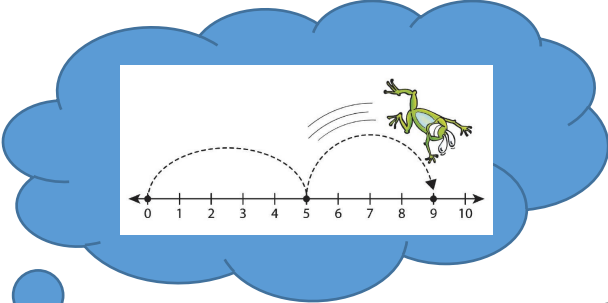
(Mathieu, Gourjon, Couderc, Thevenot & Prado, 2015)

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



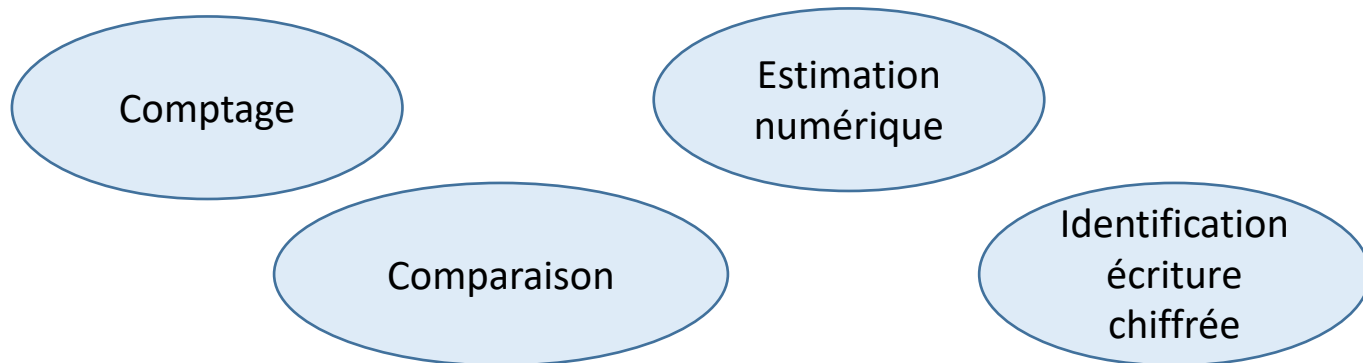
Etude Ramani & Siegler, 2008

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



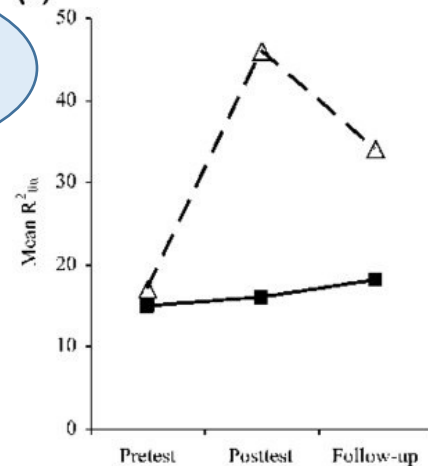
Estimation numérique

(b) Color Board Game

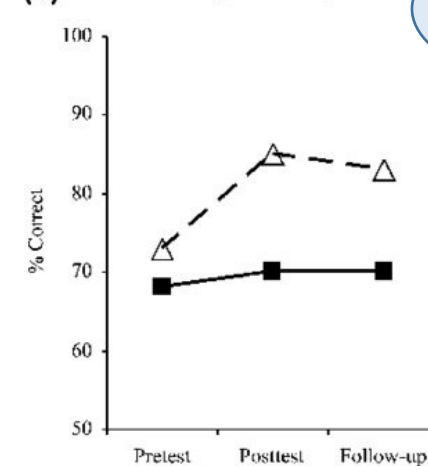


Identification écrite chiffrée

(a) Number Line Estimation: Linearity

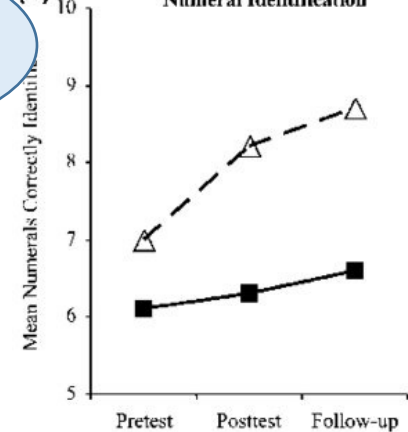


(b) Magnitude Comparison

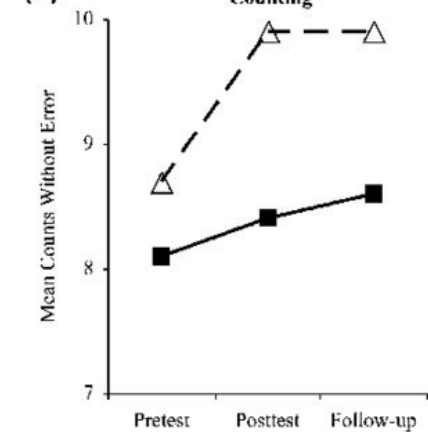


Comparaison

(c) Numeral Identification



(d) Counting



Comptage

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

Nombres et espace – Arithmétique

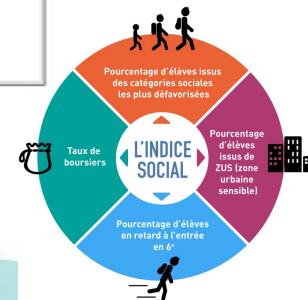
(a) Number Board Game



(b) Color Board Game



- **Ramani & Siegler, 2008** : impact des jeux de plateau linéaire avec des nombres *vs* jeux de plateau avec des couleurs
- **Ramani & Siegler, 2009** : impact des jeux de plateau linéaire avec des nombres *vs* jeux de plateau circulaire avec des nombres
- **Ramani & Siegler, 2011** : impact des jeux de plateau linéaire avec des nombres *vs* autres activités arithmétiques pour des enfants à faible revenu
- **Ramani, Siegler & Hitti (2012)** : impact des jeux de plateau linéaire avec des nombres **en classe** *vs* jeux de plateau avec des couleurs





Un troisième 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+

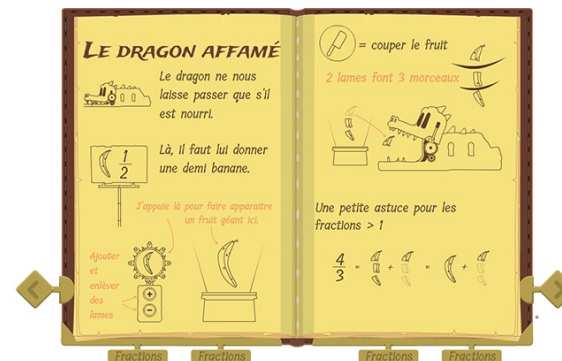
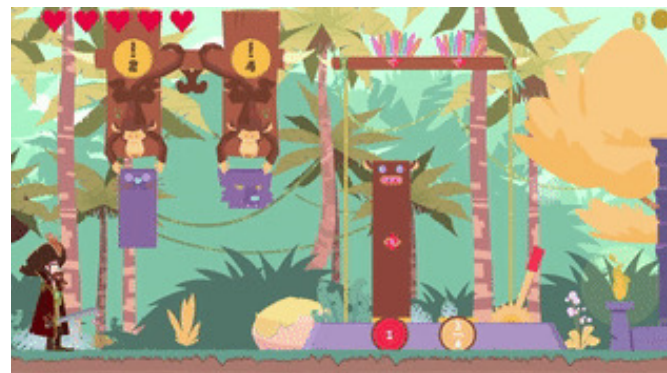


Etude transversale et longitudinale

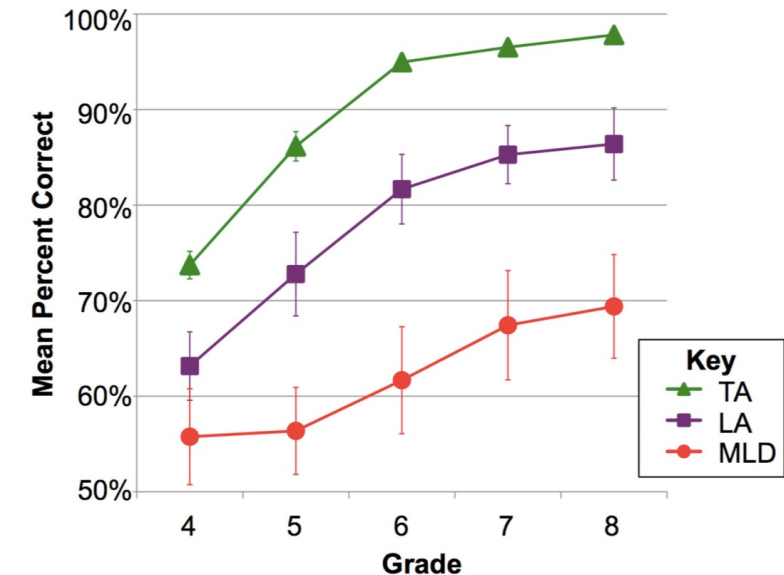
Croisements des regards en sciences cognitives et en didactique des mathématiques

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 dyscalculie



La Région Auvergne-Rhône-Alpes



Méthode de recherche croisée

Vers une étude randomisée contrôlée avec interventions, en contexte écologique

Classes « classiques »	Classes expérimentales
<p align="center">Analyses <i>a priori</i> didactiques (cartographie du domaine)</p> <p>Analyse des notions mathématiques visées – Type de tâches, Techniques, Connaissances en jeu, etc. Analyse de ressources – Manuels scolaires, Programmes, Documents enseignants, etc.</p>	
<p align="center">Formulation des hypothèses</p> <p align="center">À partir de la littérature existante et des <i>analyses a priori didactiques</i></p>	
<p align="center">Conception de tests d'évaluation</p> <p>Tests psychométriques et <i>tests didactiques pour mesurer et comprendre</i> les performances des élèves <i>Identification des critères</i> pour faire les analyses <i>Conception de grille</i> d'analyse des observations en classe</p>	
<p align="center">Pré-tests</p>	
<p align="center">Intervention « classique » <i>Observations en classe</i> (critériées)</p>	<p align="center">Intervention « expérimentale » <i>Observations en classe</i> (critériées)</p>
<p align="center">Post-tests</p>	
<p align="center">Analyses</p> <p><i>Analyses a posteriori</i> pour contrôler les enseignements et les apprentissages, à partir des observations effectuées en classe Analyses quantitatives et <i>qualitatives des performances et des procédures</i>, avec des critères issus des analyses <i>a priori</i> didactiques</p>	
<p align="center">Interprétations des résultats</p> <p align="center">Et portée générale, en cognition numérique et <i>en didactique des mathématiques</i></p>	

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

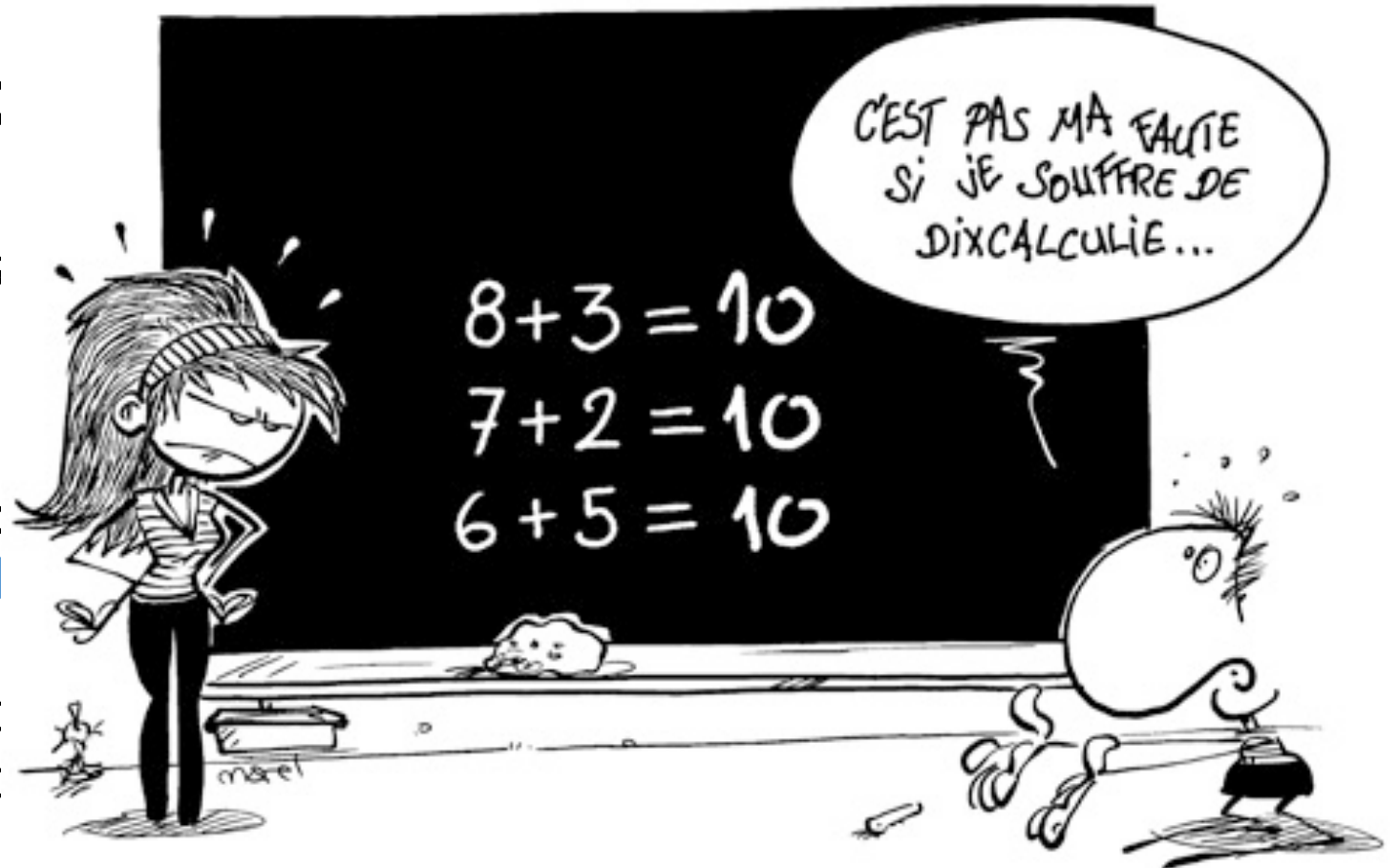
marie-line.gardes@hepl.ch

Groupe « Neurosciences et apprentissage des mathématiques »



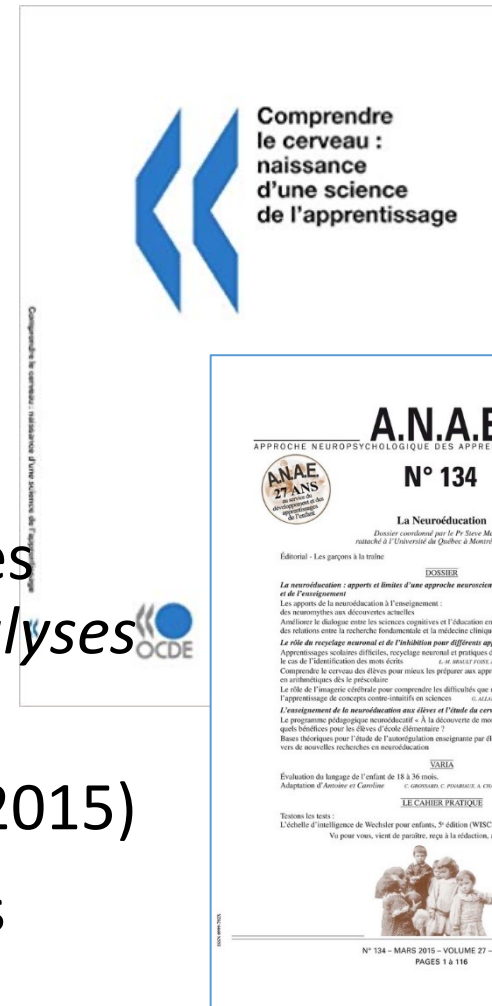
Appel à participants !

- Une **veille scientifique** avec un ressources autour des (neuro)s mathématiques.
- Une orientation de nos réflexions **produire des ressources pour les enseignants** ; par exemple la mathématiques intégrant des connaissances cognitives, tant du côté pédagogique



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 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 apport spécialisé (certains sont développés dans des articles publiés sur l'éducation), 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 Gausset et Catherine Reverdy

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

À la croisée des recherches sur le cerveau et des sciences de l'apprentissage, les neurosciences de l'éducation s'inventent 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 innombrables 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

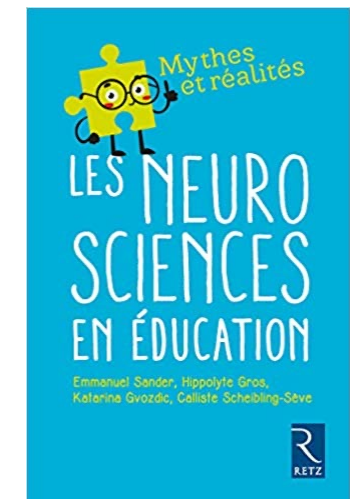
Interrogant le point de vue qui considère les neurosciences de l'éducation comme une science ou va rationnellement bouleverser nos manières d'apprendre, voire d'enseigner, nous avons souhaité dans ce dossier mettre en perspective ce que l'on sait aujourd'hui sur les relations entre cerveau et école.

Toutes les références bibliographiques citées dans ce Dossier sont accessibles sur notre site www.ife.fr

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>
- Articles Cortex-Mag : <https://www.cortex-mag.net/en-finir-avec-les-neuromythes/>



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.