



# Imagerie du développement des enfants d'âge scolaire

Apports de la neuroimagerie à la compréhension du développement cognitif de l'enfant en lien avec les apprentissages scolaires

Application en psychopédagogie

S. ROSSI, G. LEROUX, A. LUBIN, N. POIREL, C. LANOE,  
A. PINEAU, O. HOUDÉ

Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle du DEVeloppement  
Centre d'Imagerie - Neurosciences et Applications aux PathologieS UMR 6232





# Intelligence = construction du réel

---



Architecture  
cognitive

Raisonnement

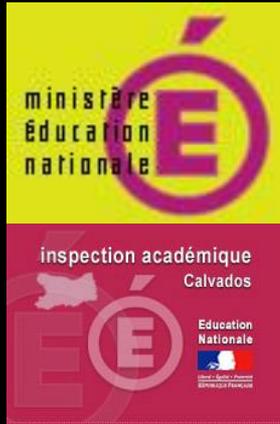
Catégorisation

Nombre

Objet



# Le nombre & les compétences numériques



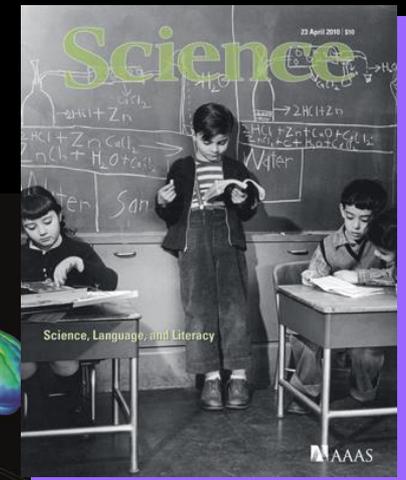
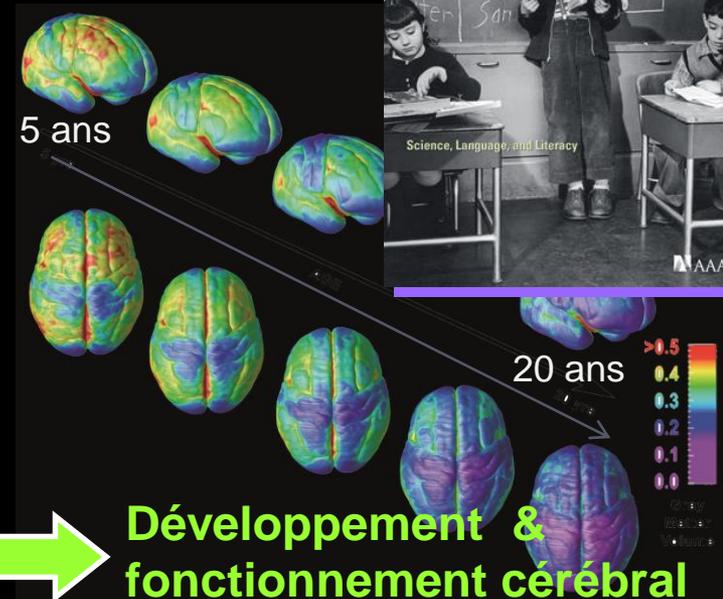
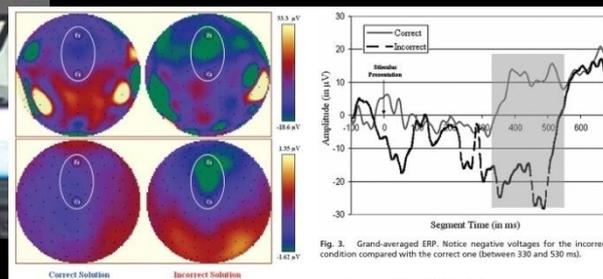
Les programmes des matières enseignées tout au long de l'enseignement obligatoire définissent un grand nombre de «**compétences**» à atteindre : écrire, lire, **compter**.

Ces compétences sont **en cours de construction, donc fragiles** et ne se stabiliseront pas avant la fin de la scolarité obligatoire.

## Les Neurosciences cognitives développementales



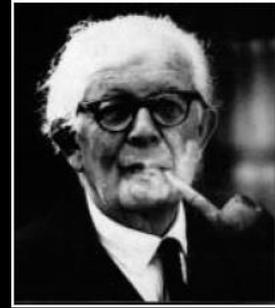
Berger et al., PNAS , 2006



# Comment se développent les compétences numériques?

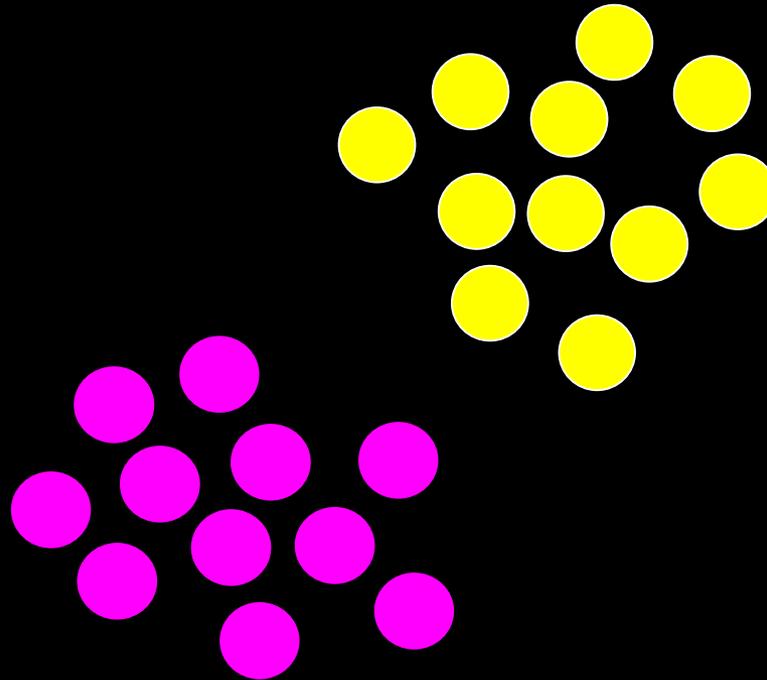
---

## Epreuve de la conservation du nombre



Jean Piaget

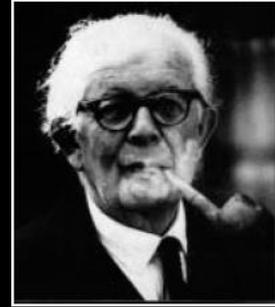
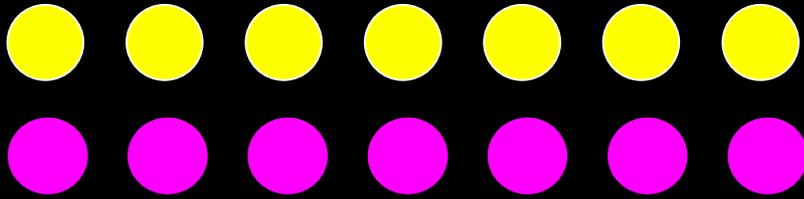
1896-1980



# Comment se développent les compétences numériques?

---

## Epreuve de la conservation du nombre



**4 ans**

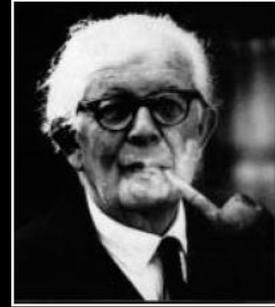
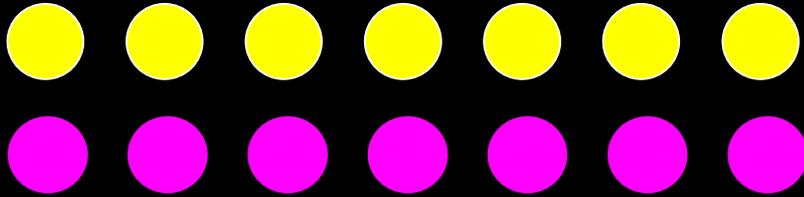
Prégnance des aspects perceptifs (intuition simple)

L'enfant est « non conservant » (stade pré-opératoire)

# Comment se développent les compétences numériques?

---

## Epreuve de la conservation du nombre



**4 ans**

Prégnance des aspects perceptifs (intuition simple)

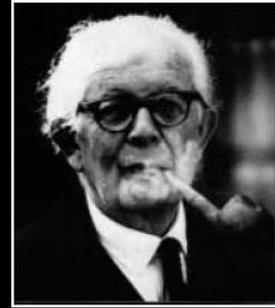
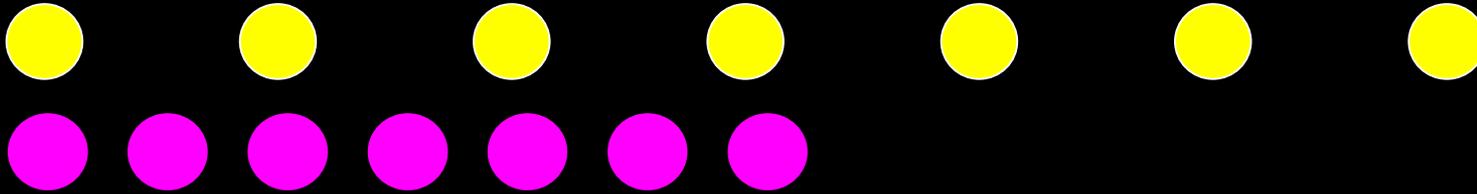
L'enfant est « non conservant » (stade pré-opératoire)

**5-6 ans**

Correspondance « terme à terme » (intuition articulée)

# Comment se développent les compétences numériques?

## Epreuve de la conservation du nombre

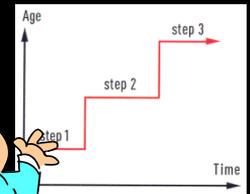


**4 ans**

Prégnance des aspects perceptifs (intuition simple)  
L'enfant est « non conservant » (stade pré-opératoire)

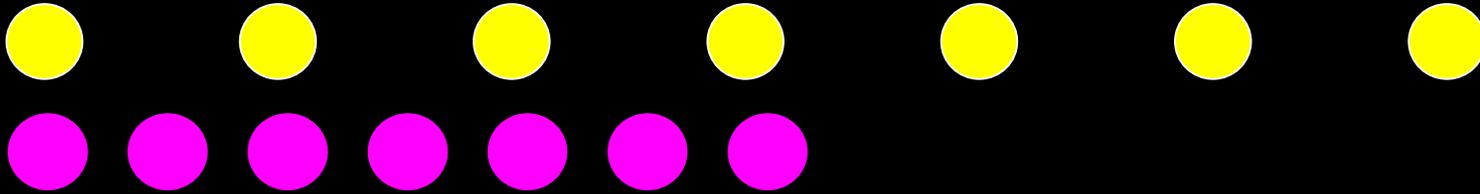
**5-6 ans**

Correspondance « terme à terme » (intuition articulée)  
L'enfant est dans un stade intermédiaire



# Comment se développent les compétences numériques?

## Epreuve de la conservation du nombre



**4 ans**

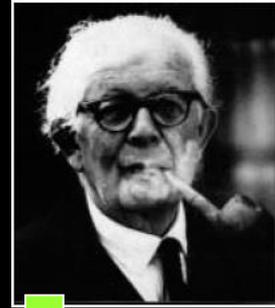
Prégnance des aspects perceptifs (intuition simple)  
L'enfant est « non conservant » (stade pré-opératoire)

**5-6 ans**

Correspondance « terme à terme » (intuition articulée)  
L'enfant est dans un stade intermédiaire

**6-7 ans**

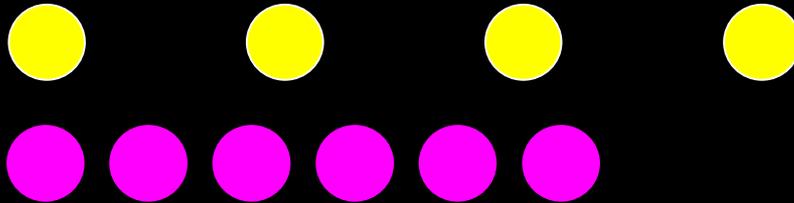
Stade de la conservation, notion de réversibilité  
L'enfant est « conservant » (stade opératoire)



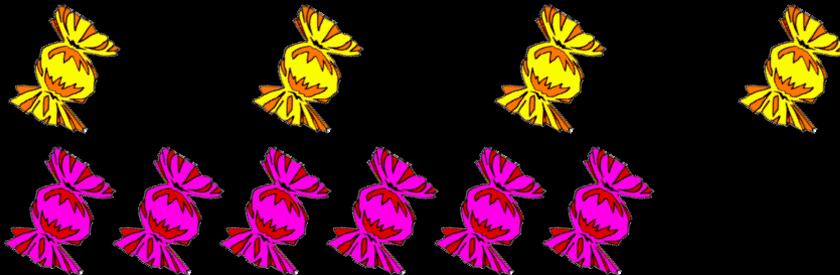
Pour Piaget, le nombre  
n'est accessible qu'à  
partir de la conservation,  
vers 6-7 ans.

# La gourmandise rendrait-elle mathématicien?

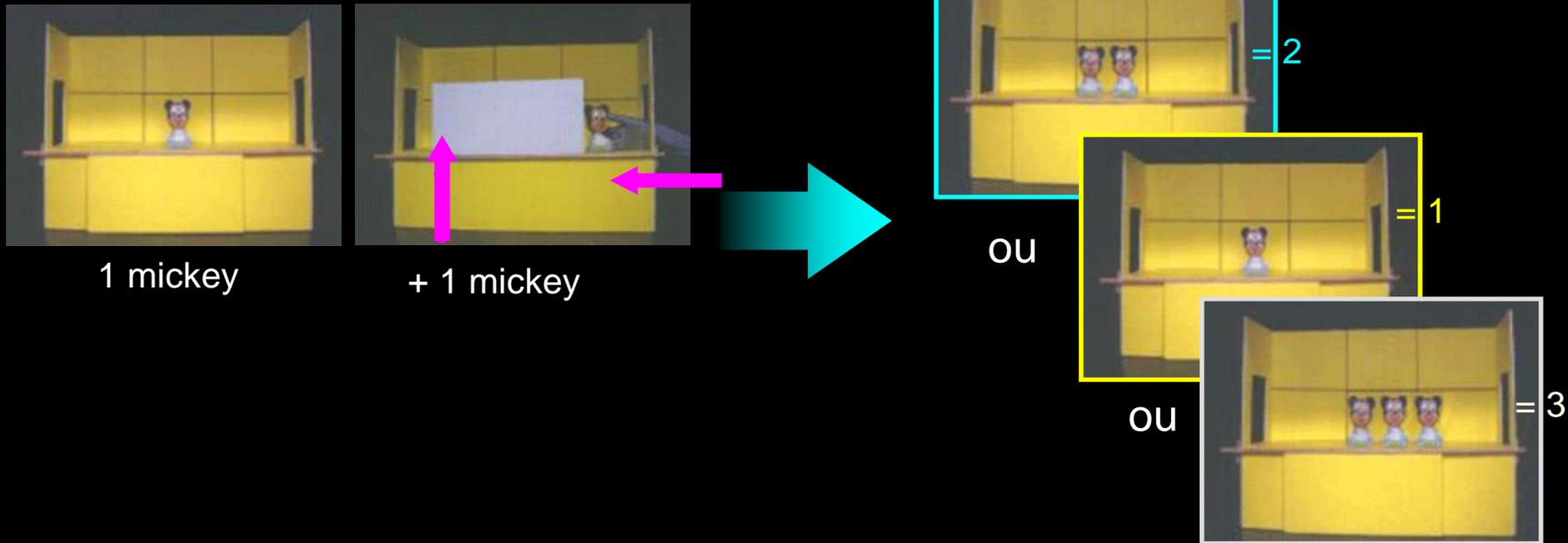
« Dans quelle rangée y a-t-il le plus de jetons ? »



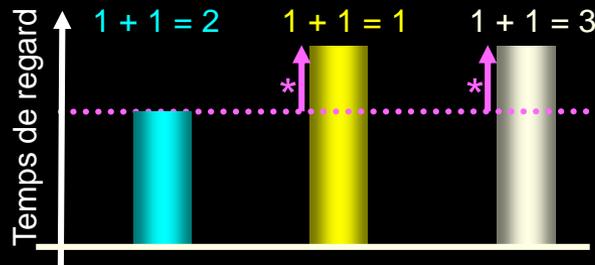
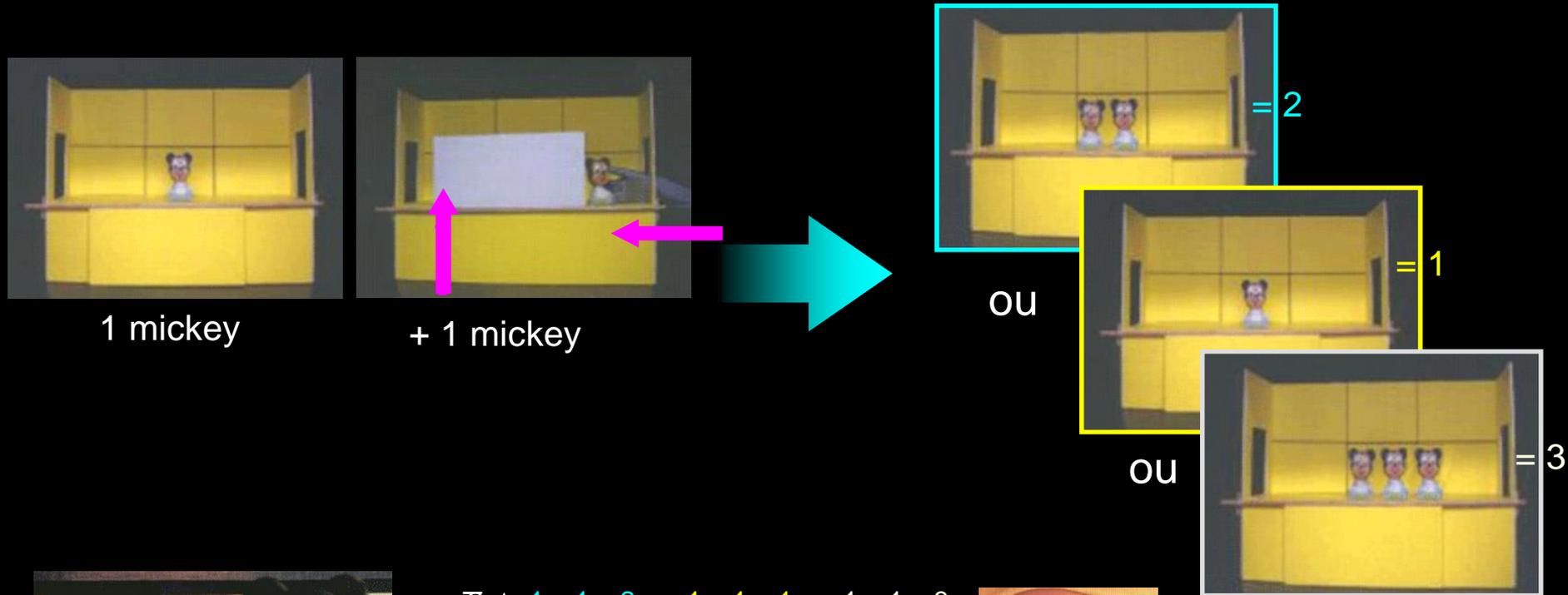
« Quelle rangée veux-tu manger ? »



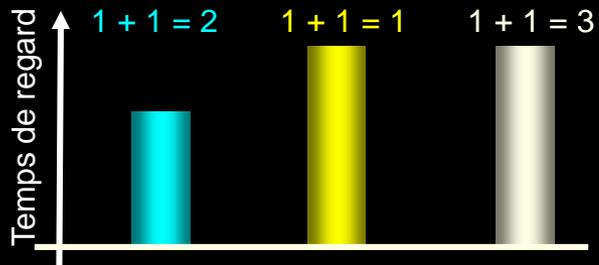
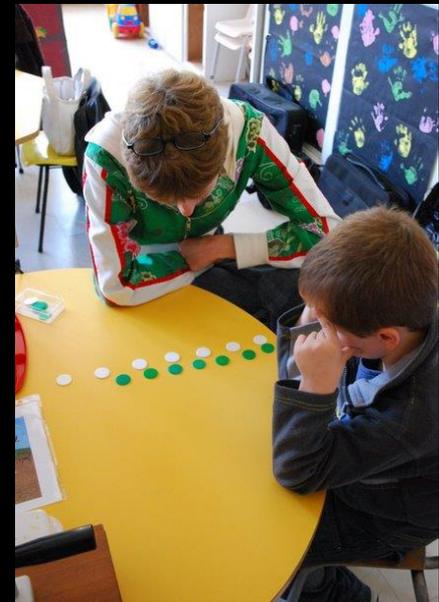
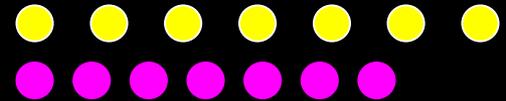
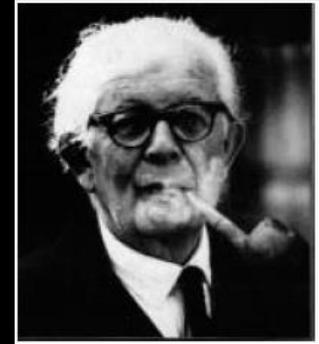
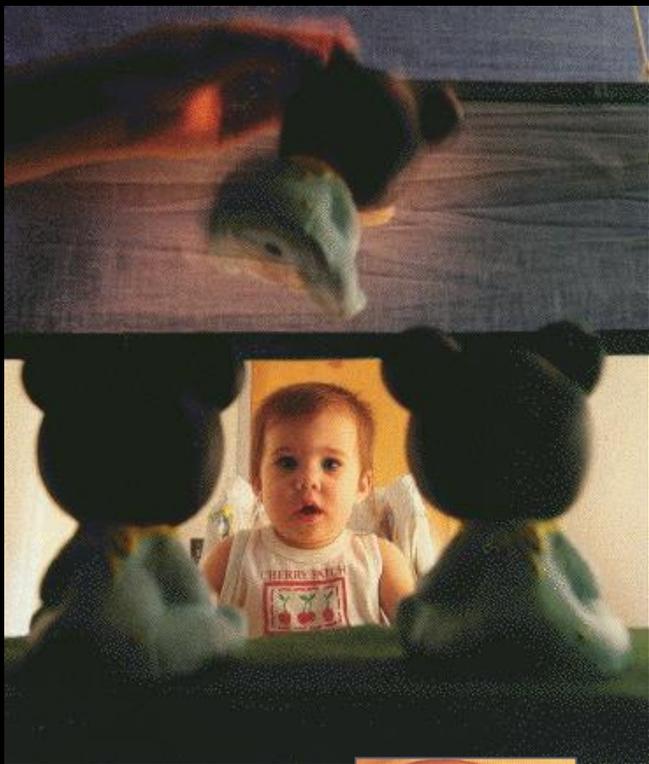
# Quand le nombre émerge t-il? ...dès 4-5 mois !!!!

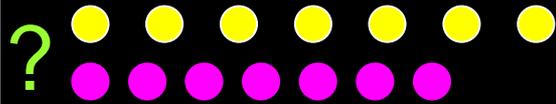
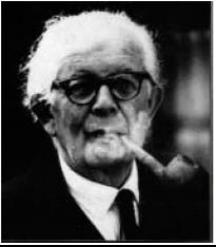


# Quand le nombre émerge t-il? ...dès 4-5 mois !!!!



➡ Les bébés anticipent le résultat d'additions et de soustractions simples





plus la rangée de peupliers est longue, plus il y a de peupliers

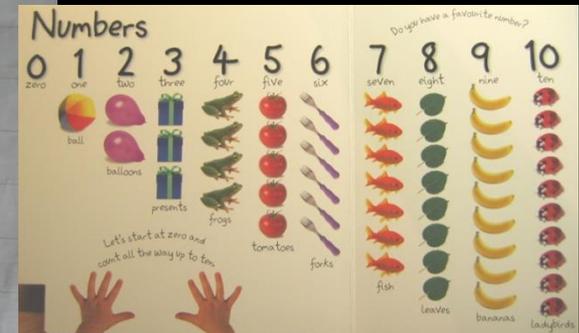


plus la rangée de livres est grande, plus il y a de livres sur l'étagère



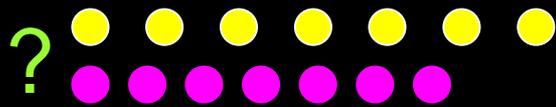
Dans la vie réelle le nombre covarie avec la longueur:

c'est l'heuristique « longueur égale nombre »



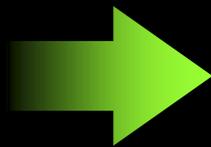
L'enfant apprend que le nombre covarie avec la longueur

Cette stratégie de quantification est pertinente dans la vie courante ...mais pas pour répondre à la tâche de Piaget



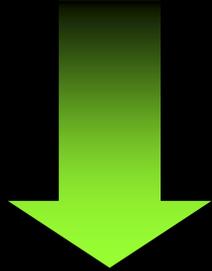
Une nouvelle interprétation des résultats de l'expérience de Piaget ?

Les enfants éprouveraient en fait des difficultés à surmonter la prégnance des aspects perceptifs dans les tâches de Piaget (Bryant, 1969; 1974)



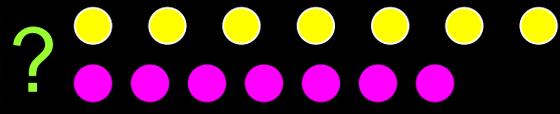
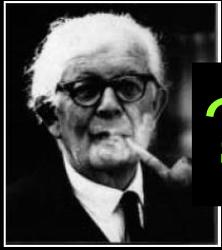
L'échec tardif à la tâche de Piaget serait dû à un **défaut d'inhibition** de la stratégie visuo-spatiale "Longueur = Nombre" (Houdé, 2001)

L'échec tardif à la tâche de Piaget serait dû à un **défaut d'inhibition** de la stratégie visuo-spatiale "Longueur = Nombre" (Houdé, 2001)

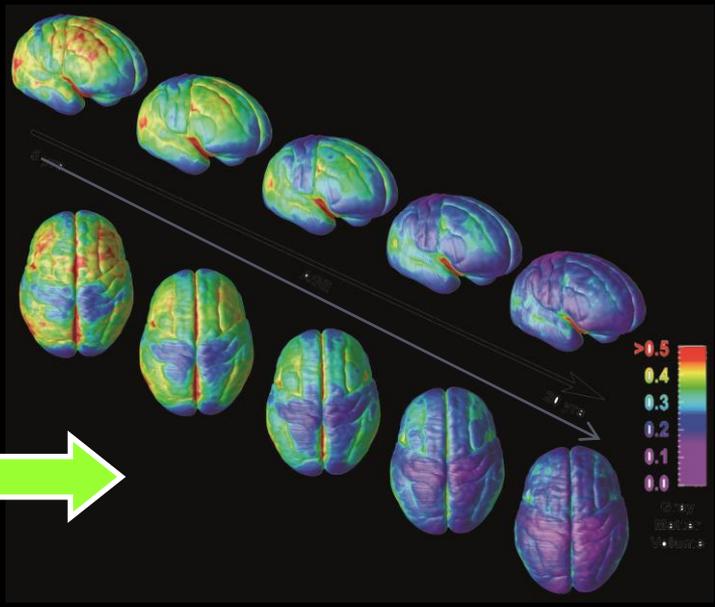


UMR6232

# Les Neurosciences cognitives développementales

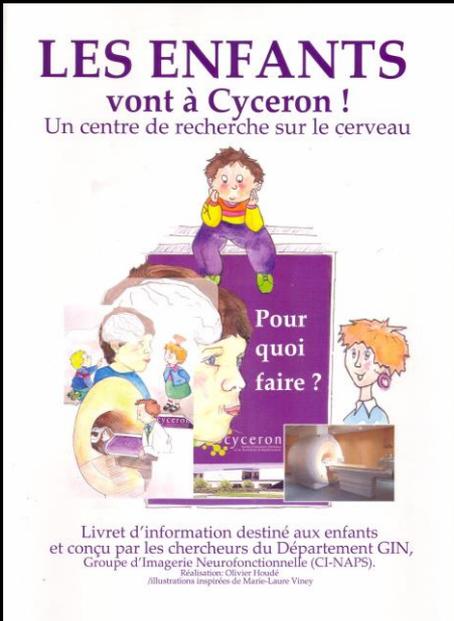


Compétences



Développement & fonctionnement cérébral

# Imagerie du Développement des Enfants d'Age Scolaire



**LES ENFANTS vont à Cyceron!**  
Un centre de recherche sur le cerveau

Pour quoi faire ?

Livret d'information destiné aux enfants et conçu par les chercheurs du Département GIN, Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (CI-NAPS).  
Réalisateur: Olivier Houde  
Illustrations inspirées de Marie-Laure Vinay



IDEAS



# Phase préliminaire

CNRS

CPP

Education Nationale



## Demande de création d'une Unité Mixte de Recherche

Nom de l'unité

**CI-NAPS**  
Centre d'Imagerie-Neurosciences,  
et d'Applications aux Pathologies

Directeur

**Bernard Mazoyer**

GINAPS GINDEV

**Equipe GINDEV**  
Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle du Développement

Responsable

Olivier HOUDE, PR1 U Paris-Descartes

Chercheur(s) et enseignant(s)-chercheur(s)

Nathalie ANGEARD, MCU U Paris-Descartes

Cyril COURTIN (60%), CR2 CNRS

Sylvain MOUTIER, PR2 U Paris-Descartes

Ariette PINEAU, MCU UCBN (délégation CNRS)

Sandrine ROSSI, MCU UCBN

Avec Fabrice CRIVELLO (30%), E3 (CR1) CEA de l'équipe GINLANG

Thématiques

Imagerie cérébrale : changements survenant dans le cerveau en relation avec (1) les stades généraux du développement cognitif et (2) les périodes critiques des apprentissages scolaires, en particulier la lecture et le calcul. Cognition et comportement chez l'enfant et l'adolescent : apprentissages exécutifs, inhibition, raisonnement, théories de l'esprit.



## COMITE DE PROTECTION DES PERSONNES NORD OUEST III CHU – Niveau 03 – Porte 03-508 – Avenue de la Côte de Nacre 14033 Caen Cedex 05

Président : Pr Claude BAZIN  
Vice-Président : M. Dominique BEYNIER  
Trésorier : Mme Charlotte GOURIO

Lundi, jeudi et vendredi  
8 h 30 – 12 h 30  
Mardi 8 h 30 – 15 h 15  
Fermé le mercredi

Tél. : 02 31 47 57 81,  
Ou 02 34 26 12 44  
Fax : 02 31 06 45 73  
E-mail : ccppnordouest@orange.fr

Direction de la Recherche Clinique  
à l'attention de Mme FRUTEAU  
CHU – Niveau 01  
14033 Caen Cedex 05

Réf. CPP : 2007-10  
Réf. CHU : 07-606  
N° ID RCB : 2007-A00442-51

Extrait des délibérations du 9 juin 2007 du Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest III, dont la séance non publique s'est tenue au CHU de Caen à cette date à partir de 9 h 00, sur la convocation de ses membres par son Président.

Siégeaient ensemble ce 9 juin 2007, sous la présidence de M. le Professeur Claude BAZIN,

### Membres du premier collège

au titre du 1<sup>er</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP

- M. Claude BAZIN, Président du Comité, médecin, membre titulaire.
- M. Pierre CHARBONNEAU, médecin, membre titulaire.
- M. Guy LAUNDRY, personne qualifiée en raison de sa compétence en matière de biostatistique ou d'épidémiologie, membre titulaire.

au titre 2<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP

- M. Bertrand VIENNOT, médecin généraliste, membre titulaire.
- au titre 3<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- Mme Charlotte GOURIO, pharmacien hospitalier, membre titulaire.
- au titre 4<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- Mme Jacqueline BOUCHET, cadre de santé, membre titulaire.

### Membres du second collège

au titre du 1<sup>er</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP

- M. Dominique BEYNIER, Vice-Président du Comité, personne qualifiée en raison de sa compétence à l'égard des questions d'éthique, membre titulaire.
- au titre 2<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- M. Didier DRIEU, psychologue, membre suppléant.
- au titre 3<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- M. Michel CHARRIER, travailleur social, membre titulaire.
- au titre 4<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- Maitre Cerveais MARIE-DOUTRESSOULLE, personne qualifiée en raison de sa compétence en matière juridique, membre titulaire.
- Maitre Marie-France MOUCHENOTTE, personne qualifiée en raison de sa compétence en matière juridique, membre suppléant.
- au titre 5<sup>e</sup> de l'article R. 1123-4 du CSP
- Mme Geneviève LEBLACHER, représentante d'association agréée de malades ou d'usagers du système de santé, membre titulaire.
- M. Xavier VOLET, représentant d'association agréée de malades ou d'usagers du système de santé, membre titulaire.

### Membre convoqué en qualité d'expert

- au titre de l'article R. 1123-13 du CSP
- M. Antoine COQUEREL, médecin, expert en pédiatrie, membre suppléant.

1/2



## CONVENTION

Entre

L'Inspection Académique du Calvados, représentée par Monsieur Jean-René VICET, inspecteur d'académie, directeur des services départementaux de l'Education Nationale, sis 2 place de l'Europe 14200 HEROUVILLE SAINT CLAIR, SIRET 17140431200018 ci-après dénommée « l'Inspection Académique »,

d'une part,

Et

Le CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, Etablissement public national à caractère scientifique et technologique, SIREN 180 089 013, code APE 7322, dont le siège social est situé 3 rue Michel Ange, 75704 PARIS Cedex 16, représenté par son Directeur Général, Monsieur Amédée MGLIS, qui a pour la présente convention délégué sa signature à Monsieur Richard VARIN, Délégué Régional Normandie, ci-après dénommé "CNRS",

agissant tant en son nom, qu'au nom du CEA, des Universités de Caen et Paris Descartes, ci-après dénommés conjointement les "Etablissements" et pour le compte du « Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle », UMR 6184 hébergée au Centre Coexon, dirigée par Monsieur Bernard MAZOYER, Directeur, Boulevard Henri Becquerel, BP 6229, 14074 Caen Cedex.

d'autre part,

L'Inspection Académique et le CNRS sont ci-après dénommés les "parties".

### Préambule :

Le GIN souhaite effectuer des recherches portant sur le développement cognitif d'une cohorte d'enfants volontaires et scolarisés de la grande section maternelle au CM2 dans des écoles du département.

Dans le cadre de ces recherches, le GIN dispose du soutien en terme de sensibilisation des équipes pédagogiques, de communication en direction des familles de l'Inspection Académique.

La présente convention vient établir les engagements des parties à la présente convention.

Il est donc convenu et arrêté ce qui suit :

Le CNRS  
Le Délégué Régional

Richard VARIN

Visa du directeur du GIN

Pr Bernard MAZOYER  
Directeur Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle  
UMR 6184, CNRS-CEA-  
Université de Caen, Université Paris 5  
Bernard MAZOYER

L'inspecteur d'académie  
Directeur des services départementaux  
De l'Education nationale

Jean-René VICET

Visa du responsable scientifique  
du programme de recherche

Olivier HOUDE

# Phase préliminaire

Délégation Générale de la santé  
Ministère de la santé

  
Liberté - Égalité - Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports

Direction générale de la santé  
Sous-Direction de la politique des pratiques  
et des produits de santé  
Bureau de la qualité des pratiques  
et des recherches biomédicales et  
DMS/PP1/CEM07

Paris, le 13 mars 2007

CHU DE CAEN  
Monsieur le Directeur Général  
Avenue de la Côte de Nacre  
14033 CAEN CEDEX

Personne chargée du dossier :  
Mme le Dr Sabine BENOIST  
Tél. : 01 40 56 57 33  
Fax : 01 40 56 56 56  
E-mail : sab.benoist@caen.gouv.fr

N° d'enregistrement : 2007-A00442-51

Monsieur le Directeur Général,

Par votre courrier du 08/06/2007, reçu le 12/06/2007, vous m'avez adressé, en qualité de promoteur ou de représentant du promoteur, une demande d'autorisation de mise en œuvre de la recherche biomédicale suivante :

**Protocole IDEAS. Imagerie du Développement des Enfants d'Age Scolaire : étude de faisabilité.**  
Investigateur coordonnateur : Bernard MAZOYER

Je vous informe que l'autorisation de mise en œuvre de cette recherche biomédicale vous est accordée sous le numéro : DCS2007-0307

En outre, je vous rappelle qu'en application de l'article L. 1123-6 du code de la santé publique, cette recherche ne pourra commencer qu'après qu'un Comité de protection des personnes aient émis un avis favorable sur le projet.

Pour toute demande de modification substantielle, toute déclaration d'effets indésirables graves inattendus, toute déclaration de fin de recherche ou toute autre correspondance relative à cette recherche, il conviendrait de rappeler le numéro d'enregistrement mentionné en haut de la présente lettre.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur Général, l'expression de ma considération distinguée.

  
Hélène SAINTÉ MARIE

CHU Direction Générale	
N°	Date
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

2007-03-13 10:07

Urgences pédiatriques  
du CHU de Caen

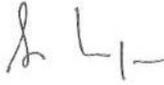
PROTOCOLE D'ACCORD CONCERNANT LA REALISATION DE  
PROTOCOLES DE RECHERCHE BIOMEDICALE EN IMAGERIE PAR  
RESONANCE MAGNETIQUE ANATOMIQUE ET FONCTIONNELLE CHEZ  
L'ENFANT AU SEIN DU GIP CYCERON

entre Le Professeur Bernard MAZOYER, agissant en tant que Directeur du  
Groupement d'Intérêt Public Cyceron, d'une part,

et Le Docteur Mikael JOKIC, Praticien hospitalier dans le service de réanimation  
pédiatrique du Centre Hospitalier Universitaire Côte de Nacre, agissant en tant que  
Réanimateur, d'autre part

Avec l'accord de Mr Joël MARTINEZ, Directeur du Centre Hospitalier Universitaire  
Côte de Nacre,

Fait à Caen, en trois exemplaires, le 3 mars 2008

  
Pr. B. MAZOYER  
Directeur du GIP Cyceron

  
Dr. M. JOKIC  
Praticien hospitalier  
Réanimation pédiatrique

  
Mr. J. MARTINEZ  
Directeur Général du CHU  
côte de Nacre



# Recrutement des enfants

Livrets pour chaque enfant et ses parents.



**LES ENFANTS**  
vont à Cyceron !  
Un centre de recherche sur le cerveau

cyeron

**LIVRET D'ACCUEIL**  
destiné aux parents d'un enfant participant  
à une recherche biomédicale en  
imagerie par résonance magnétique (IRM)

cyeron

**Pour quoi faire ?**

Livret d'information destiné aux enfants  
et conçu par les chercheurs du Département GIN,  
Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (CI-NAPS).  
Réalisation: Olivier Houde  
Illustrations inspirées de Marie-Laure Vinay

cyeron

Plateforme d'Imagerie Cérébrale et de Recherche en Neurosciences

CYCKERON  
Campus Jules Horowitz  
Boulevard Henri Becquerel  
F-14074 CAEN Cedex

Contact : Marie-Renée Turbelin  
Tél : 02 31 47 02 96  
Email : turbelin@cyeron.fr  
http://www.cyeron.fr

Séances pédagogiques en classe sur le « cerveau » avec les conseillers pédagogiques et les enseignants.

Affiches pour les écoles et Cyceron.



**Qu'y a-t-il dans ma tête ?**

1 On peut mesurer mon corps

2 Pour voir le cerveau :  
L'IRM = Imagerie par Résonance Magnétique

3 Le cerveau

cyeron

... et même voir à l'intérieur !

Planche didactique destinée aux enfants des écoles et conçue par les chercheurs du Département GIN, Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (CI-NAPS), Centre Cyceron à Caen. Réalisation: Olivier Houde/illustrations inspirées de Marie-Laure Vinay.

Réunions d'information par GINDEV - Éducation Nationale pour les parents et les enfants



# Visite du centre de recherche Cyceron



- ▶ Visite de l'installation
- ▶ Rencontre de l'équipe
- ▶ Entretien médical

# Les enfants IDEAS

**N = 60 enfants**



▶ 8 enfants de CM2

▶ 14 enfants de CM1

▶ 14 enfants de CP

▶ 24 enfants de GS

22 grands

38 petits

# La familiarisation physique et psychologique à l'école la veille de l'examen IRM



Jouer au « Pareil/Pas pareil » en répondant sans voir sa main.



Le casque-antenne de l'IRM.

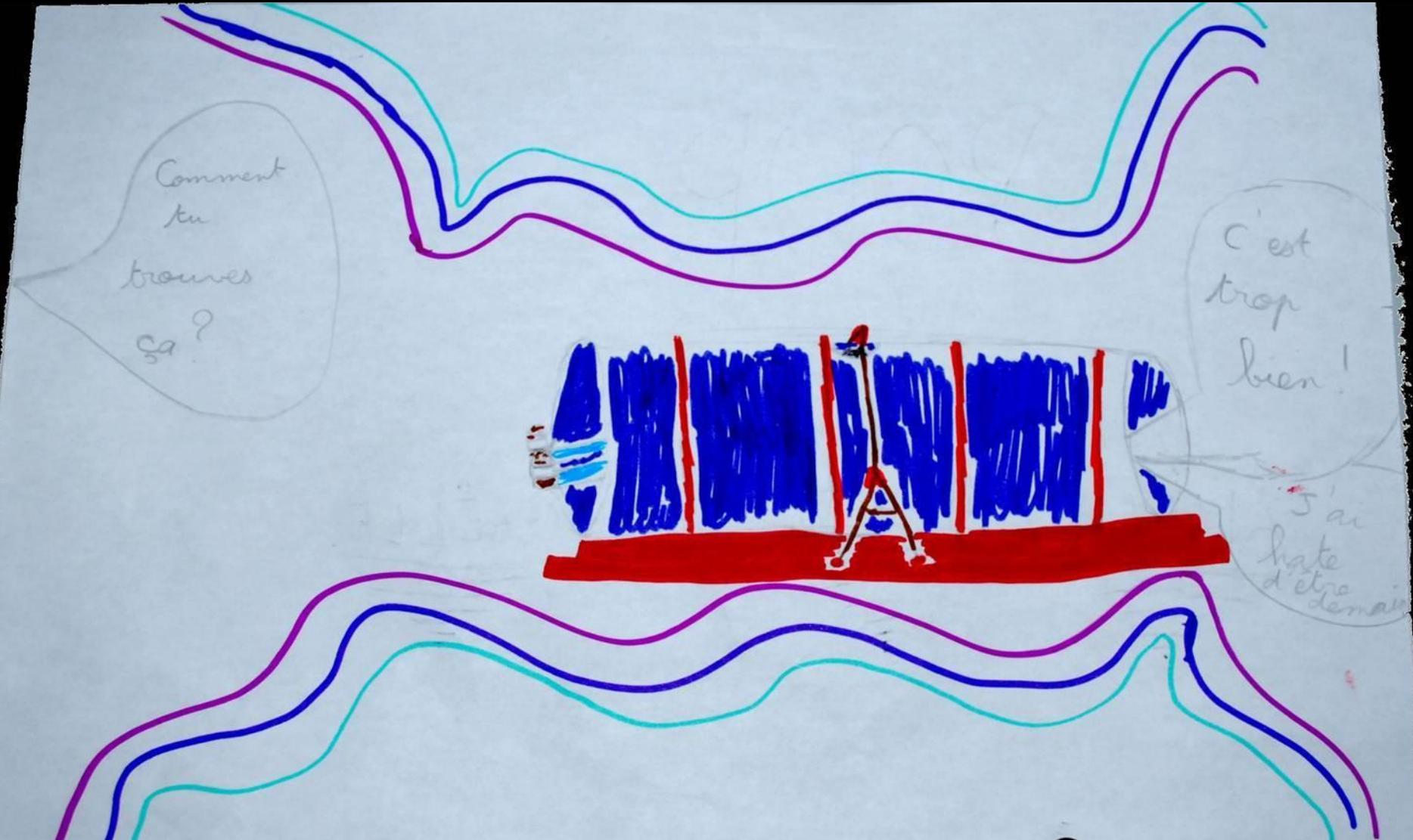


Faire la statue dans le tunnel.



Les touches tactilement différentes : la perle douce « pareil » et le chocolat rugueux « Pas pareil ».

# La familiarisation physique et psychologique à l'école la veille de l'examen IRM



# La passation de l'IRM

Accueil à Cyceron.



Entretien de l'enfant et ses parents avec le médecin.



Dernier entraînement.

Consente

Pour les parents

(En 2 exemplaires : 1 parent + 1 investigateur)

CODE SUJET :

Pour les enfants

FEUILLE DE CONSENTEMENT

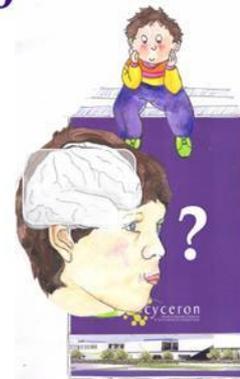
Imagerie du Développement des Enfants d'Age Scolaire (protocole IDEAS)

1. En signant ce formulaire, j'accepte de faire pa recherche portant sur l'« Imagerie du Dévelo j'autorise le médecin investigateur à réaliser st Résonance Magnétique (IRM) anatomique et l'imageur Philips IRM-3-Tesla du CIP (Groupeur Cette recherche est coordonnée par le Professe d'Imagerie-Neurosciences et d'Applications aux I
2. Les procédures de cette recherche sont conformes au matière d'éthique des recherches biomédicales su dans la Loi n° 2004-806 du 9 août 2004.
3. Une information détaillée du type d'étude, de sa méthodologie, des questions pratiques et de sa durée une forme adaptée à sa maturité et à son niveau d mon enfant, ce que l'on attendait de lui. Le coordim expliqué les restrictions inhérentes à l'étude et les ri être de mon enfant.
4. J'accepte de passer un entretien avec le médecin à j et éducatif. Si je souhaite accompagner mon enfan répondrai aux mêmes questions médicales person indications relatives aux règles de sécurité.

Après avoir réfléchi,

je décide !

OUI



NON



Colorie le cercle qui correspond à ton choix et écris (ou dessine) ton nom en dessous.

Même si tu as dit OUI, tu pourras toujours arrêter la recherche à n'importe quel moment si tu le souhaites !

# La passation de l'IRM



# La passation de l'IRM



**Qu'y a-t-il dans ma tête ?**

On peut mesurer mon corps

1

2

3

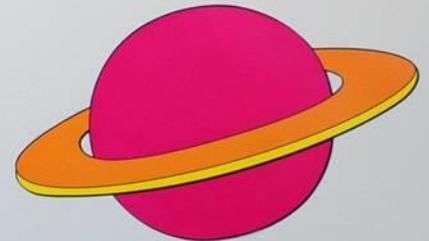
Le cerveau

cyberon

**Pour voir le cerveau :  
L'IRM = Imagerie par Résonance Magnétique**

... et même voir à l'intérieur !

Fonction éducatrice destinée aux enfants des écoles et conçue par les chercheurs du Département GNV, Groupe d'Imagerie Neurofonctionnelle (I-CNAIF), Centre Cyronon à Caen. Révisé par Olivier Fissol. Illustrations inspirées de Marie-Laure Vinay.

An educational poster titled 'Qu'y a-t-il dans ma tête ?' (What's in my head?). It features three numbered illustrations: 1. A child being measured with a stadiometer. 2. A child with a brain scan image overlaid on their head. 3. A child with a brain scan image overlaid on their head, with an arrow pointing to the brain labeled 'Le cerveau'. The poster also includes the text 'On peut mesurer mon corps' and 'Pour voir le cerveau : L'IRM = Imagerie par Résonance Magnétique'. At the bottom, it says '... et même voir à l'intérieur !' and has a small disclaimer.

# La passation de l'IRM



En tenue de cosmonaute !



Les bouchons d'oreille.



Coucou Papa & Maman !



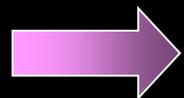
La tête dans les étoiles...

# La passation de l'IRM

---



# La passation de l'IRM



## Session 1 : anatomique

Réglages (2 minutes)

Séquence T1 (5 minutes)

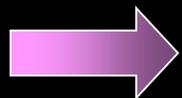
avec



ou



# La passation de l'IRM



Pause

Le médecin vérifie et montre l'image anatomique à l'enfant et ses parents.

Goûter



# La passation de l'IRM



## Session 2 : fonctionnelle

Réglages avec un dessin animé (5 minutes)

Tâche cognitive (14 minutes)



# La passation de l'IRM

**BRAVO !**

**Debriefing**

« Comment tu faisais dans ta tête pour répondre ? »



« Est-ce que tu es content(e)  
d'avoir participé à cette  
recherche ? »



« Est-ce que le bruit de l'IRM  
te gênait ? »



« Serais-tu prêt(e) à jouer à la  
statue dans l'IRM encore une  
fois ? »

# La passation de l'IRM



## Remise d'un diplôme et de cadeaux

Un diplôme d'honneur est décerné à *chaque enfant* pour sa participation à une recherche sur le cerveau et pour le remercier de sa précieuse collaboration !

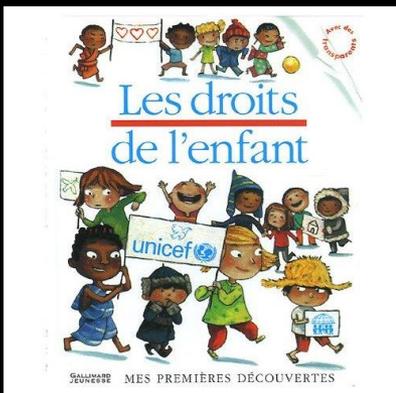
Colle ici ta photo



Professeur Bernard Mazoyer

Professeur Olivier Houdé

à Caen, le  
17 juin  
2009.



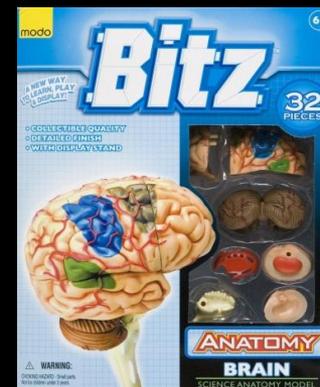
+



OU

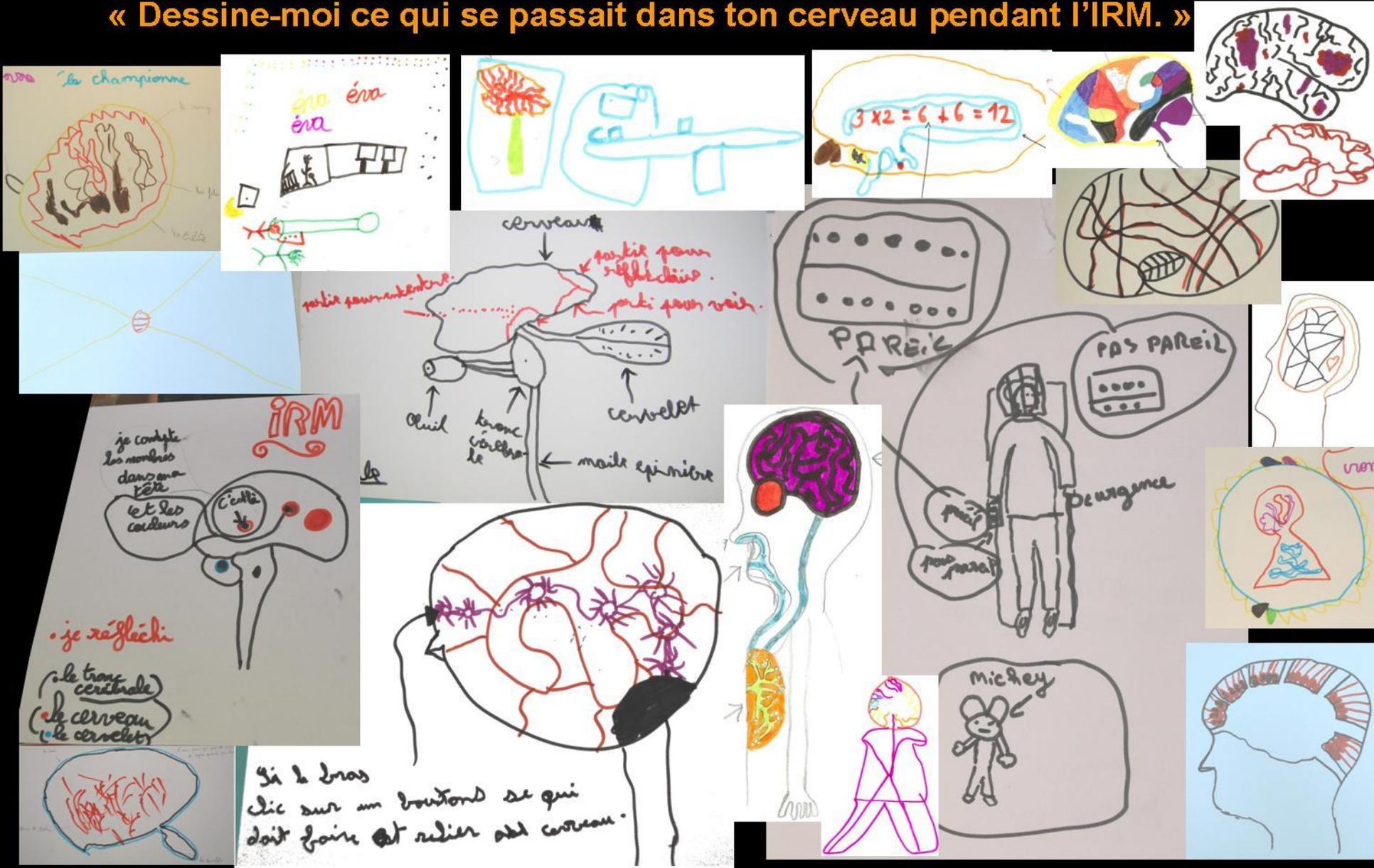


OU



# La passation de l'IRM

« Dessine-moi ce qui se passait dans ton cerveau pendant l'IRM. »





# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

---

Durée de la batterie complète ~1h

Epreuves piagésiennes	Fonctions exécutives et perception	Epreuves numériques	Lecture	Latéralité
<ul style="list-style-type: none"><li>• Conservation du nombre</li><li>• Sériation</li><li>• Conservation de la substance</li><li>• Inclusion</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Go-Nogo</li><li>• Empan de chiffres</li><li>• Stroop animaux</li><li>• Local/global</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calcul mental</li><li>• Echelle de nombres</li><li>• Estimation</li></ul>	Alouette	<ul style="list-style-type: none"><li>• Echelle de latéralisation</li><li>• Pegboard</li><li>• FTT</li></ul>

# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

## Epreuves piagésiennes (UDN2, Meljac et Lemmel, 1999)

Conservation du  
nombre

Sérialiation

Conservation de la  
substance

Inclusion



# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

## Fonctions exécutives et perception

Inhibition  
Go-Nogo



Inhibition  
Stroop animaux



Mémoire de travail  
Empan de chiffres  
(WISC-IV)



Perception  
Local/global



# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

## Epreuves numériques

(Zareki-R, Von Aster, 2005 : Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant)

Calcul mental



Echelle de nombres



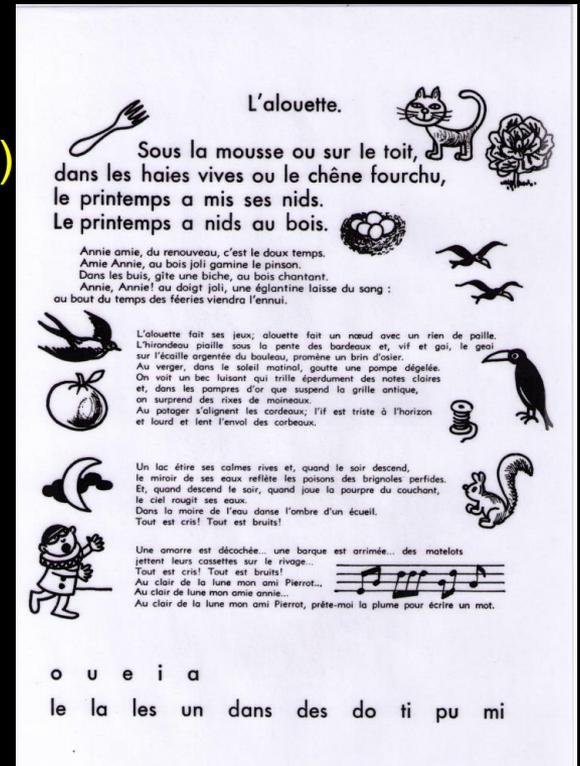
Estimation



# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

## Lecture

(Alouette-R, Lefavrais, 2005)



# Le lendemain à l'école : la batterie d'épreuves cognitives

## Latéralité

Echelle de latéralisation  
(De Agostini & Delatollas, 1988)



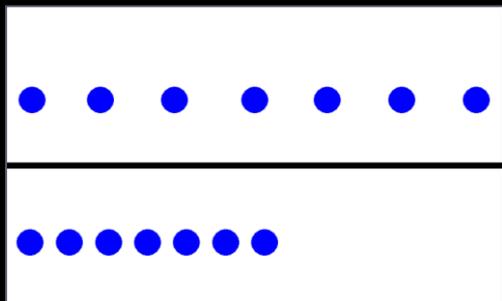
Dextérité manuelle :  
Purdue pegboard  
(Fleishman & Ellison, 1962)



Rapidité de frappe :  
Finger Tapping Test  
(FTT électronique)



# IDEAS : effectifs



## 3 groupes en fonction des réponses

**Non conservant**  
« Pas pareil : c'est plus long, il y en a plus. »

**Intermédiaire**  
« C'est pareil de chiffres mais pas pareil de jetons »

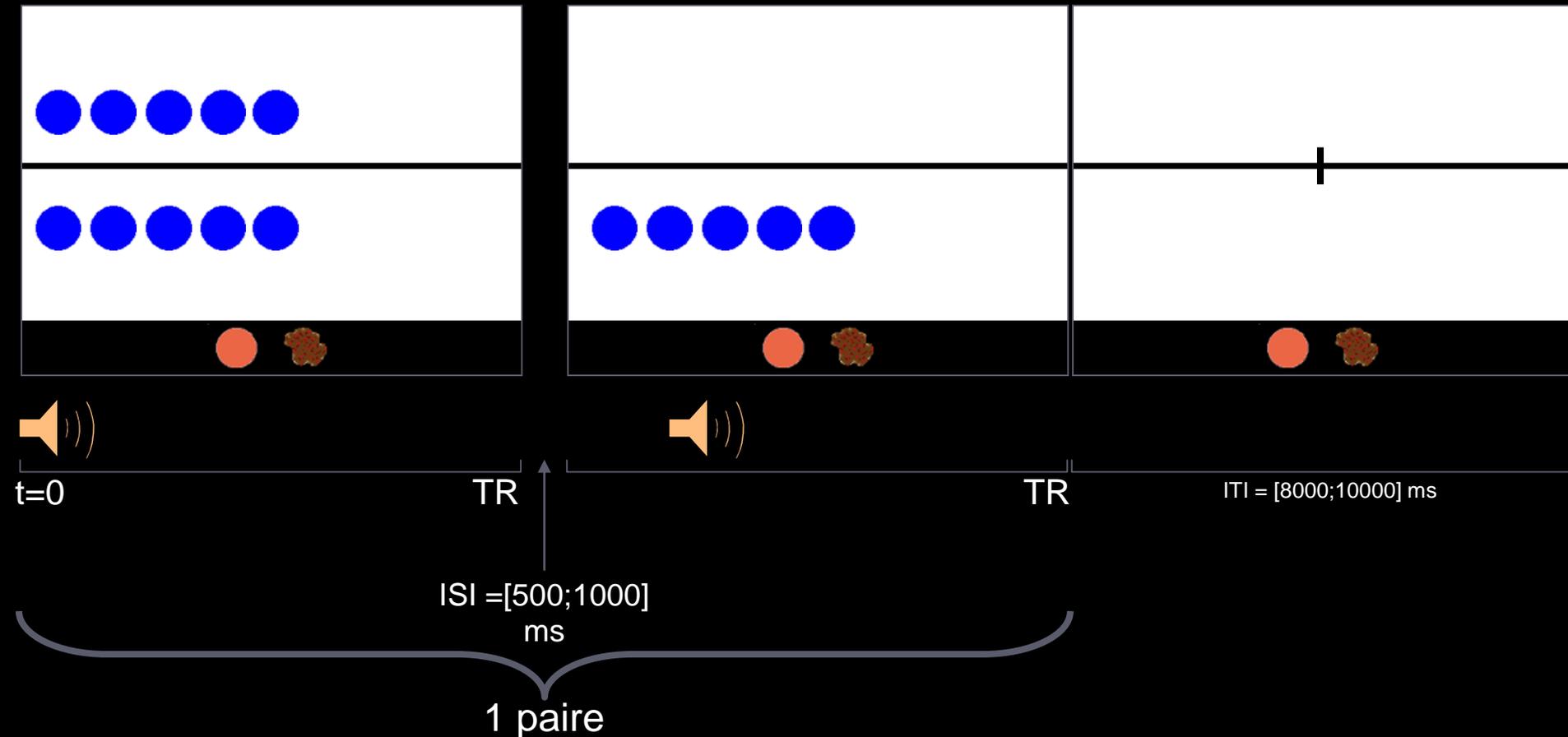
**Conservant**  
« Pareil : c'est juste déplacé. »

2 groupes en fonction de l'âge

Petits	GS	12	2	-
	CP	4	5	-
Grands	CM1	-	1	11
	CM2	-	1	5
<b>Total</b>		<b>16</b>	<b>9</b>	<b>16</b>
Filles/Garçons		10/6	8/1	7/9

**41**  
25/16

# IDEAS : Paradigme expérimental



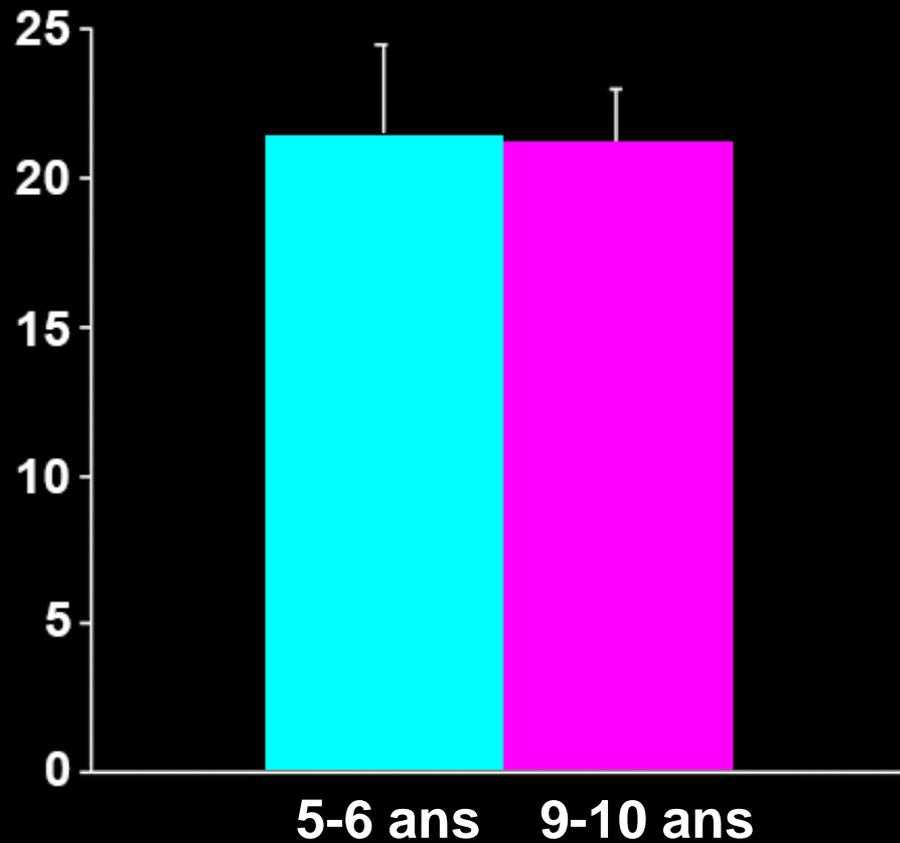
COV « En haut et en bas, est-ce qu'il y a pareil de jetons ou pas pareil de jetons ? ».

INT « Et maintenant, est-ce qu'il y a pareil de jetons ou pas pareil de jetons ? ».

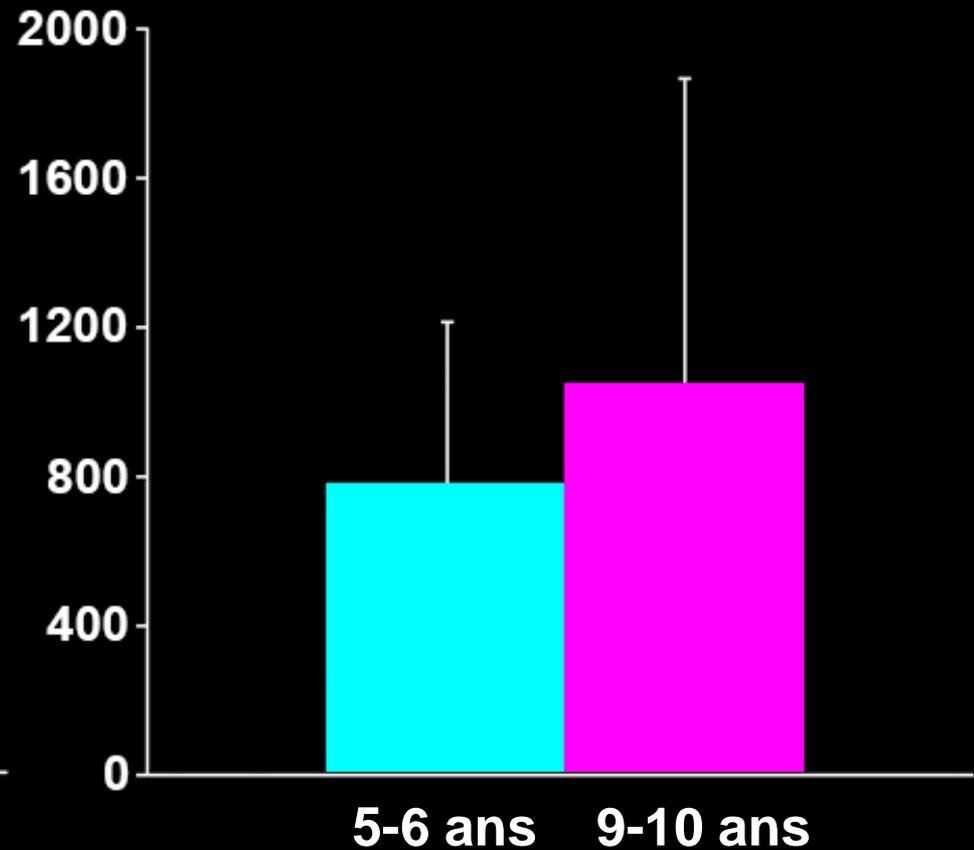
# IDEAS : résultats comportementaux

---

## Nombre d'événements



## Temps de réponse

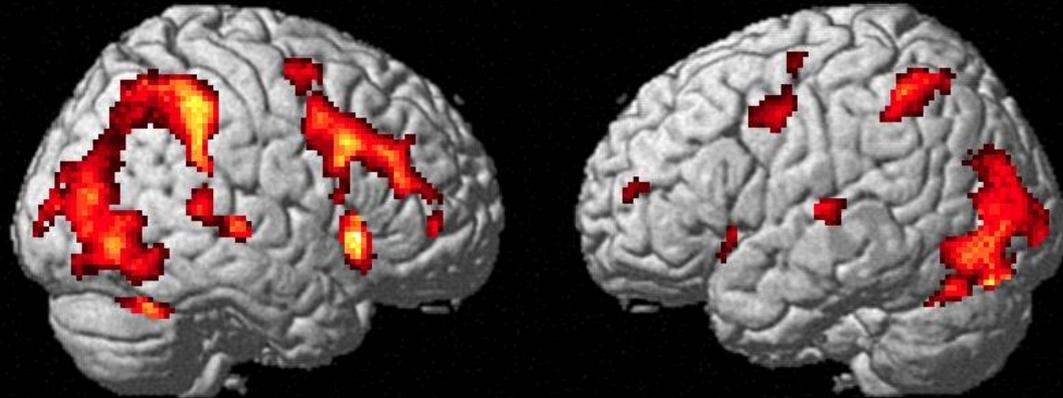


# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

---

**16 enfants de 9-10  
ans réussissant  
« Conservants »**

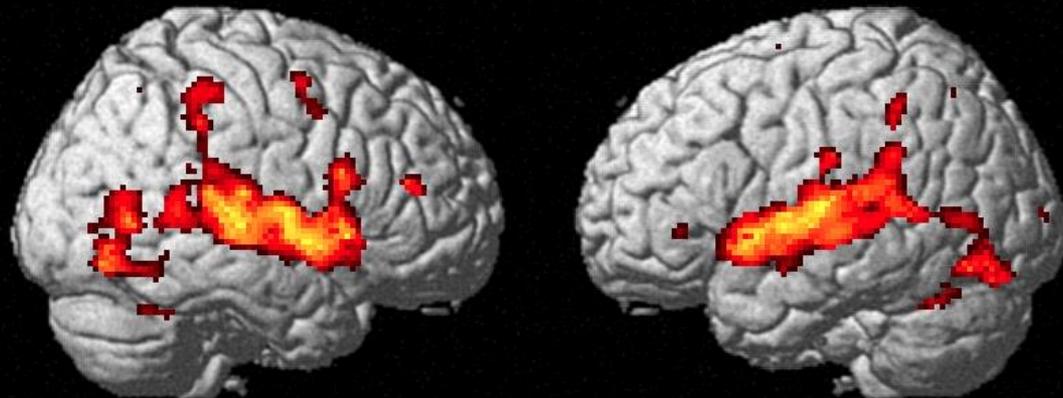
P<.05 FWE corr.  
20 voxels min



---

**16 enfants de 5-6  
ans échouant  
« Non conservants »**

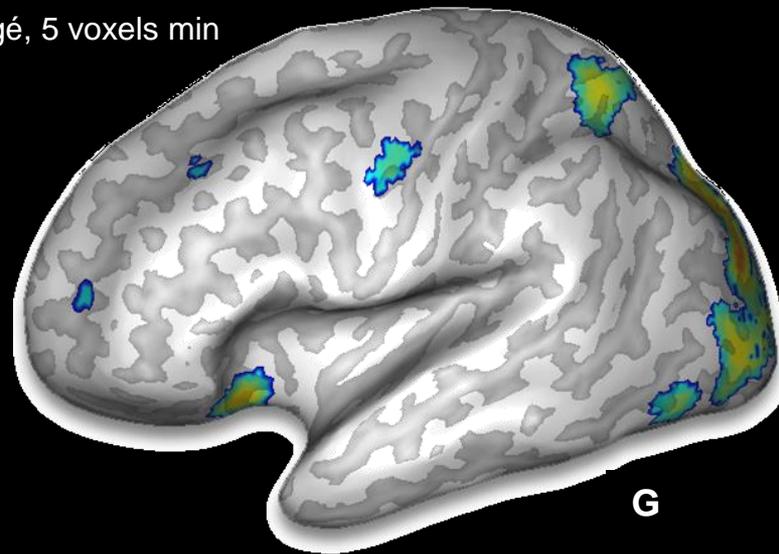
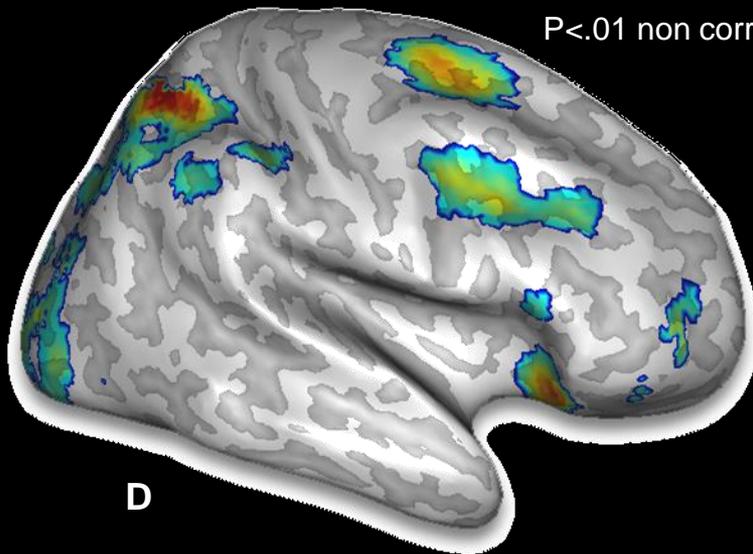
P<.05 FWE corr.  
20 voxels min



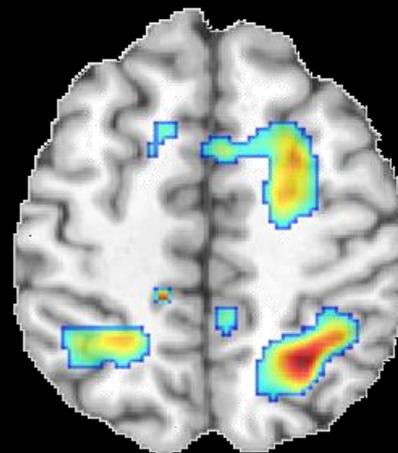
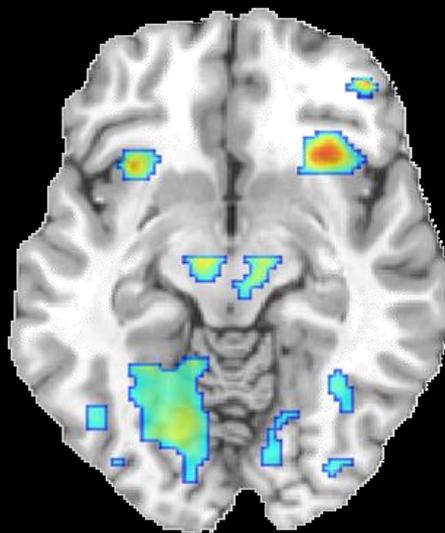
# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

(Conservant) – (Non Conservant)

$P < .01$  non corrigé, 5 voxels min



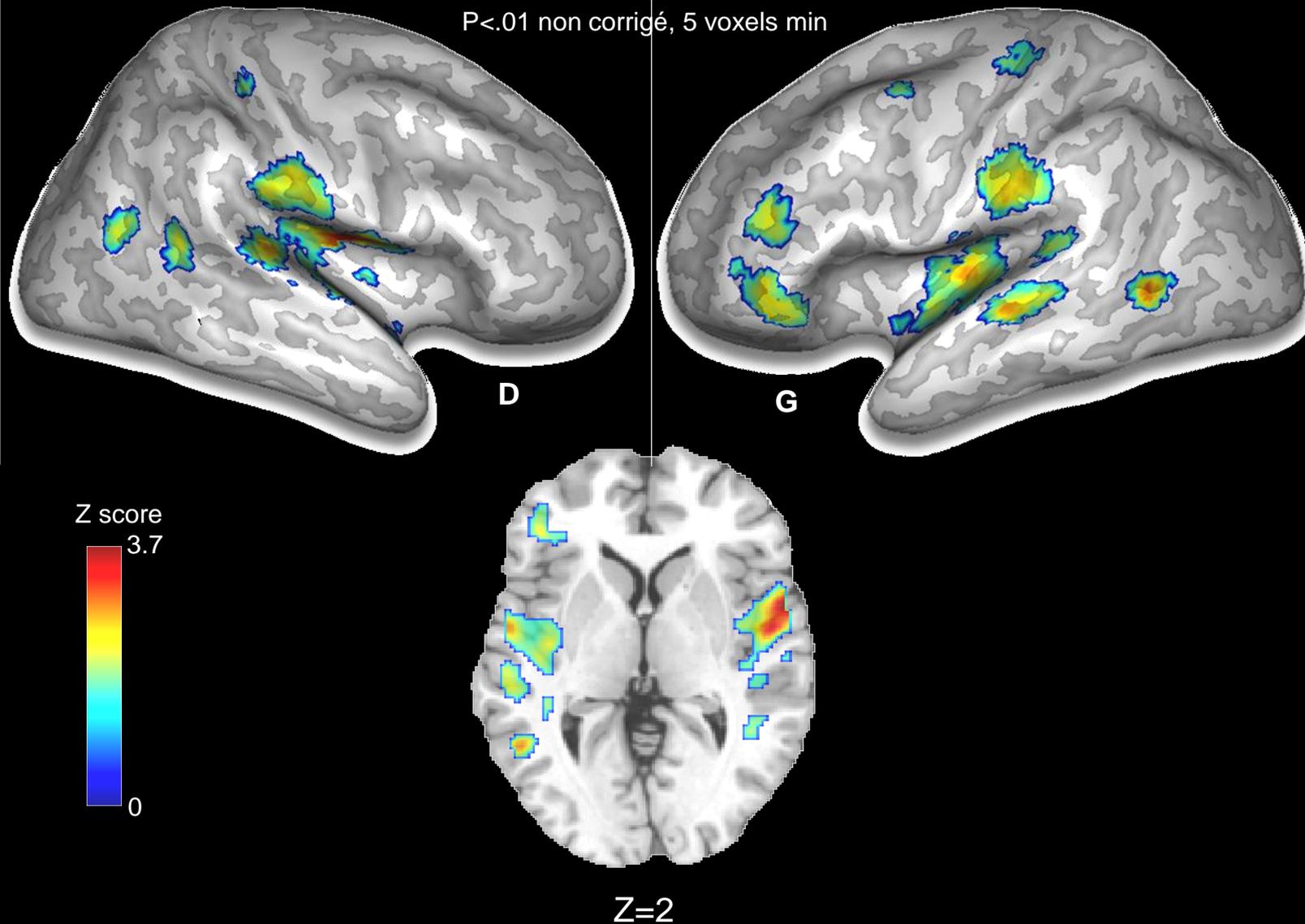
Z score  
4.6



# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

(Non Conservant) – (Conservant)

$P < .01$  non corrigé, 5 voxels min



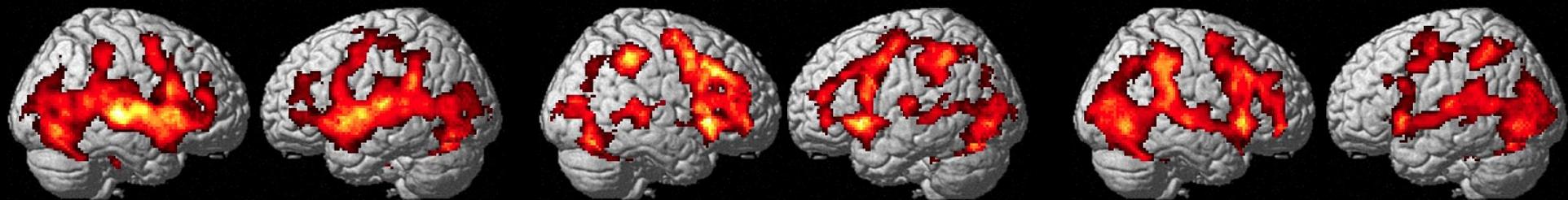
# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

---

7 Non Conservants

7 jeunes conservants

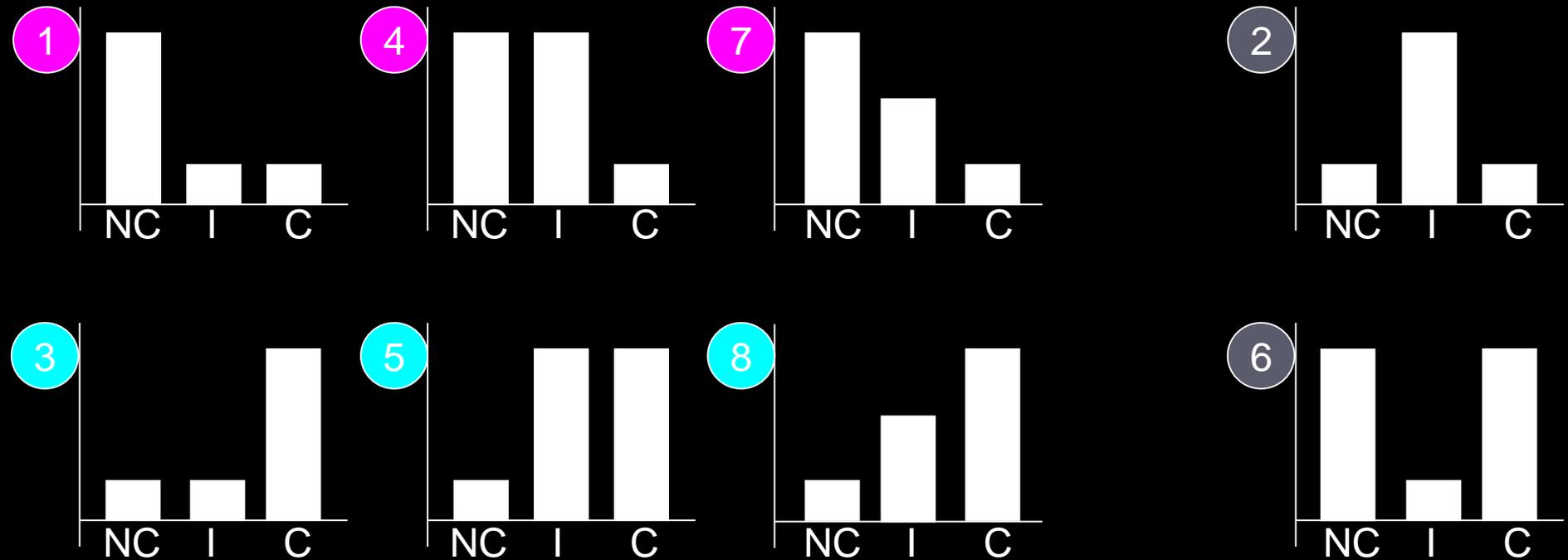
7 Conservants



Résultats équivalents à l'analyse précédente pour NC & C (7 *versus* 16 enfants).

# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

## Modèles de réponse BOLD testés



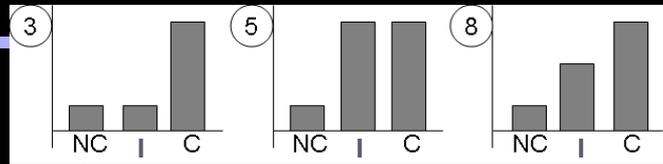
Légende :

NC : Non Conservants

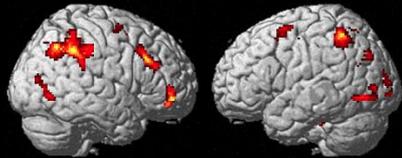
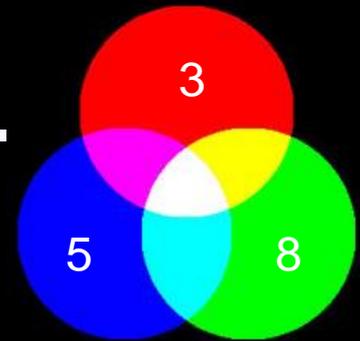
I : intermédiaires

C : Conservants

# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle



Synthèse des sous-groupes « C-NC »



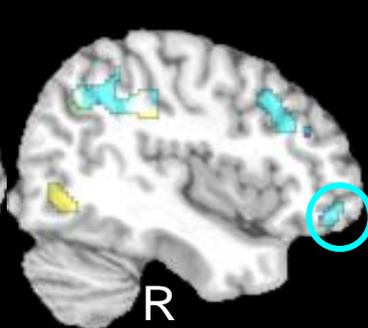
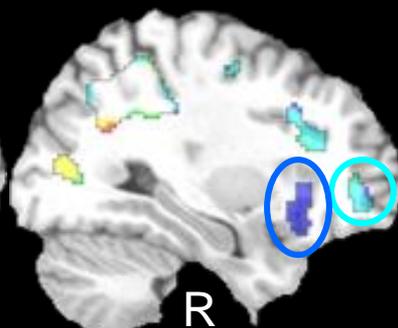
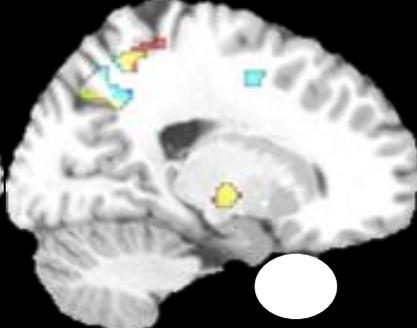
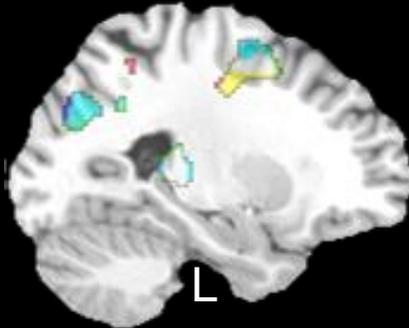
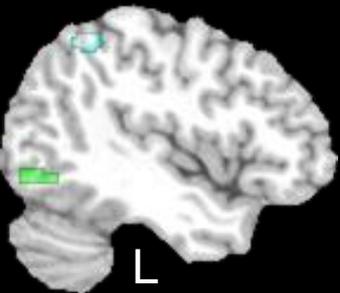
-44

-24

20

32

44



L

L

R

R

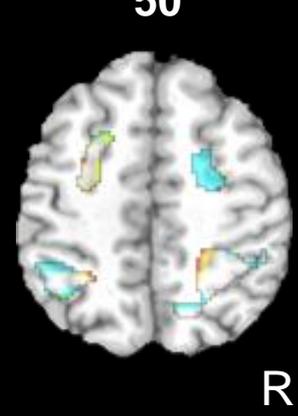
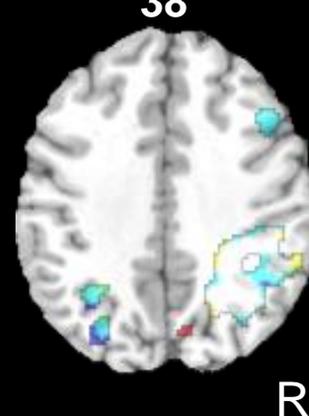
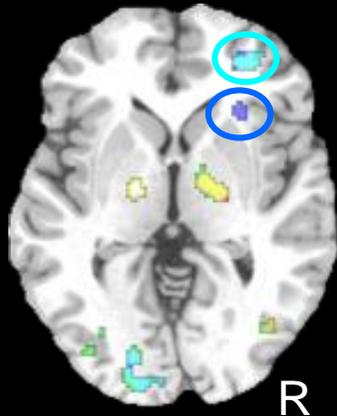
0

6

24

38

50



R

R

R

R

R

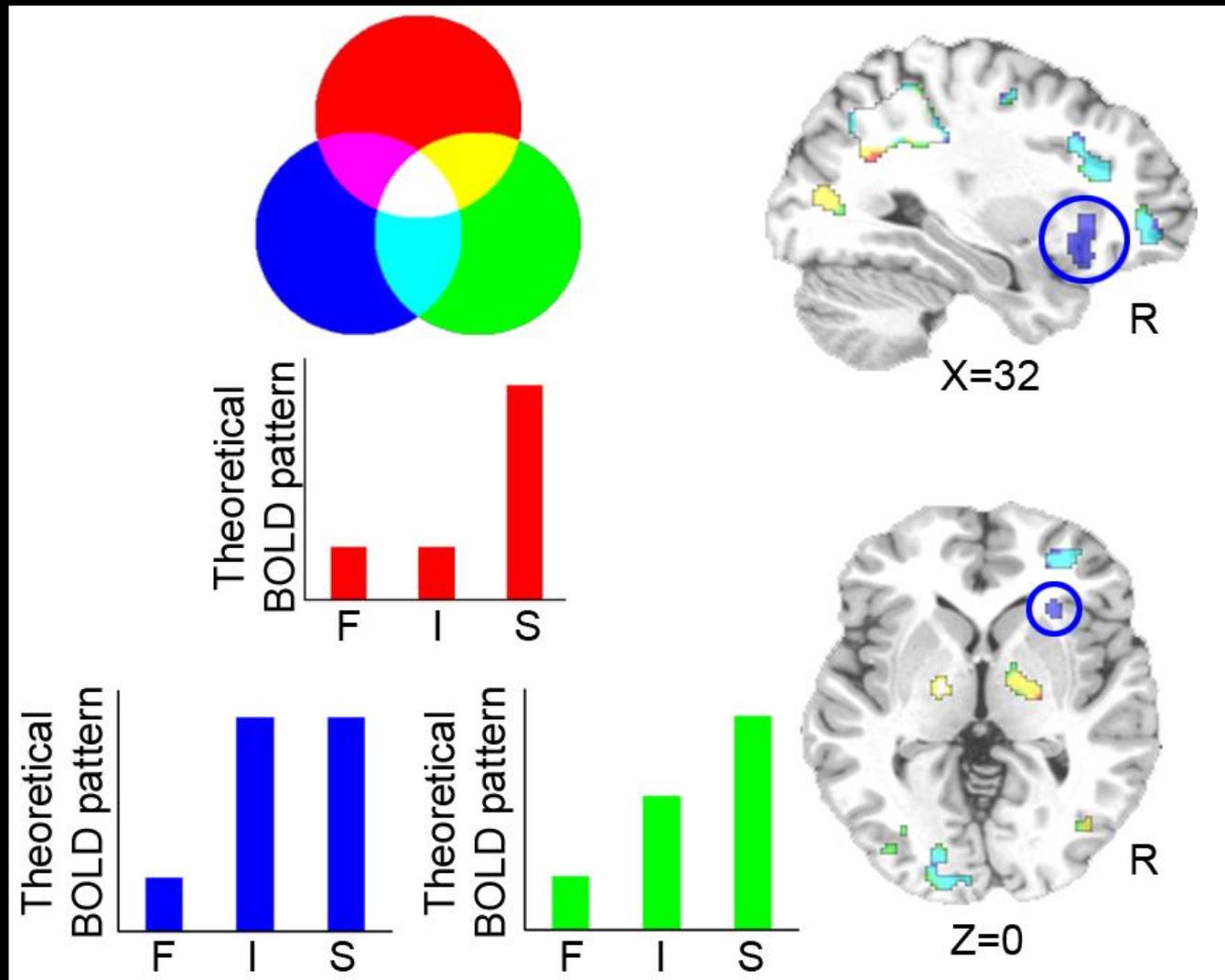
○ Gyrus frontal inférieur droit, partie orbitaire.  
 ○ Insula / gyrus frontal inférieur droit, partie orbitaire.

$P < .01$  unc. voxel-level  
 $P < .05$  unc. cluster-level

# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

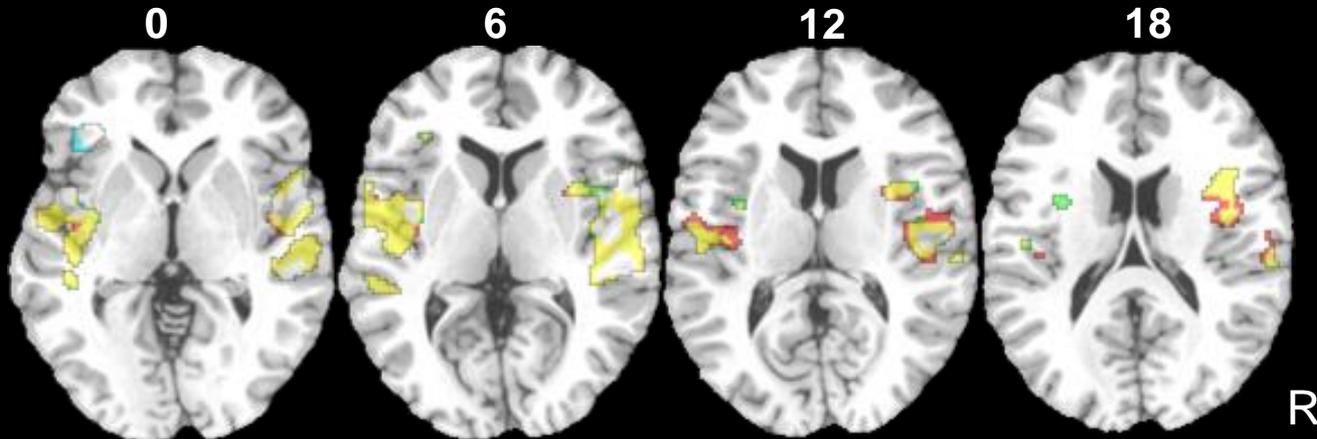
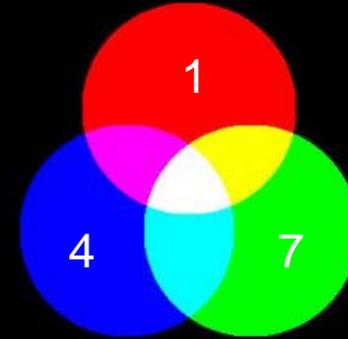
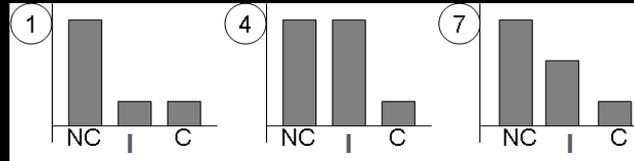
(Conservant  $N_b$ ) – (Non Conservant  $N_b$ )

$P < .01$  non corrigé, 5 voxels min



# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

Synthèse des sous-groupes « NC-C »



$P < .01$  unc. voxel-level  
 $P < .05$  unc. cluster-level

# IDEAS : résultats IRM fonctionnelle

---

La maman de Nathan (9 ans) :

« Quand Nathan a su que le RDV était reporté, il a pleuré. »

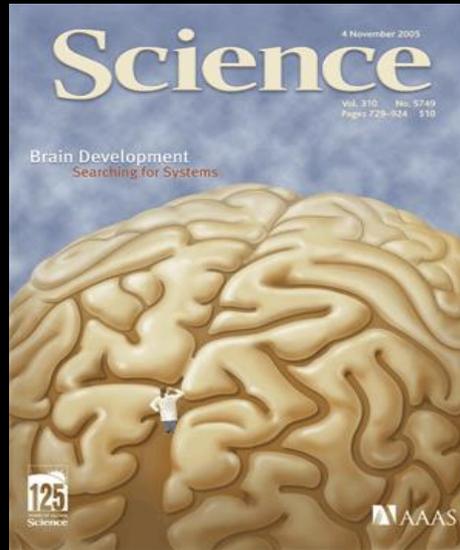
Qu'est-ce que tu as découvert avec cette recherche ?

Eva, 7 ans : « J'ai vu un magicien ! »



Cantlon et al., *Plos Biology* 2006

# Neurosciences Développementales et Education



2005

sciencemag.org SCIENCE VOL 310 4 NOVEMBER 2005  
Published by AAAS

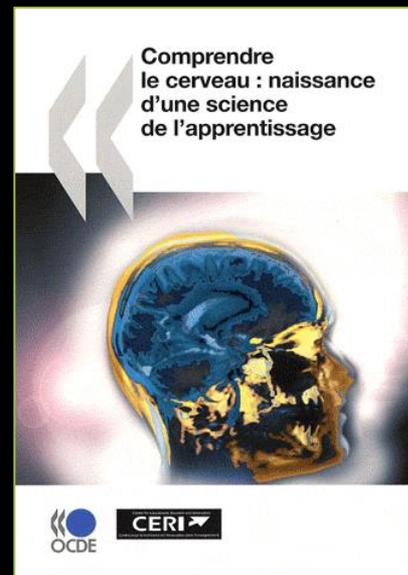
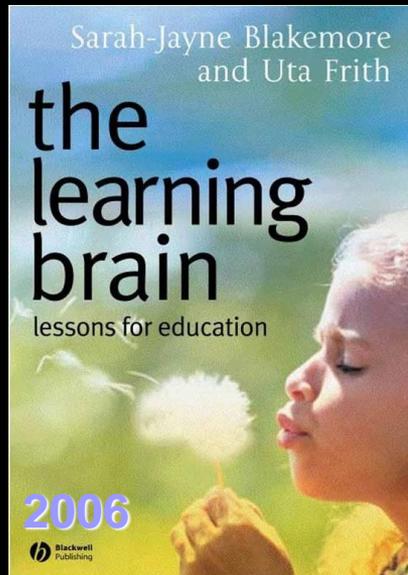
## EDITORIAL

### Pedagogy Meets Neuroscience

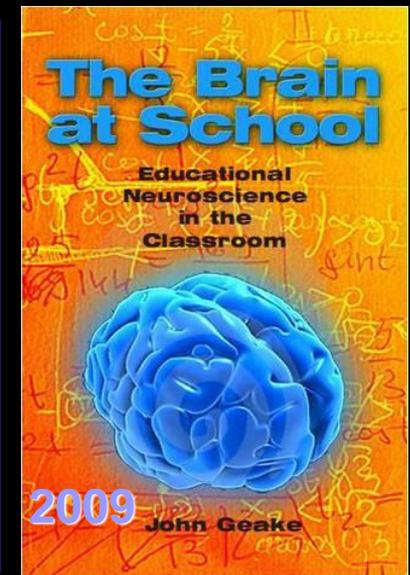
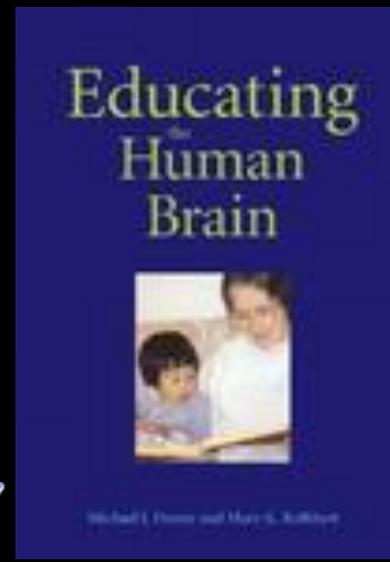
**H**aving acknowledged the social and economic value of education, modern societies are increasingly making concerted efforts to improve schooling at all age levels. Today, policy-makers and practitioners responsible for educational reform and improving classroom practice seek to base their decisions on empirical evidence rather than on opinions, fashions, and ideologies, as was too often the case in the past. This desire for "evidence-based" education has coincided with a period of tremendous progress in the field of neuroscience and enormous public interest in its findings, leading to an ongoing debate about the potential of neuroscience to inform education reform. Although the value of neuroscience research on this front is seemingly promising, collaboration with educators is doomed to failure if the public is not correctly informed and if the research is not considered in an interdisciplinary context.

It has become dangerously fashionable to label general—even trivial—pedagogical advice that is not grounded in scientific fact as "brain-based learning." For instance, findings about rapid synaptic proliferation in young children's brains have nurtured hopes that cognitive capabilities can be increased by teaching infants vocabularies and basic facts with audiovisual material. But proponents of these early education programs have conveniently overlooked the lack of direct empirical evidence linking neurological and learning processes. It is far from clear whether children who are encouraged to memorize isolated facts early in life show better long-term retention than their peers.

As a scientist specializing in school-related learning, I am open to the educational implications of neuroscience. However, we need to scale down unrealistic expectations. Otherwise, there is a danger that new efforts to incorporate research in this area into education could be stymied by falsely raising the hopes of the public and policy-makers. There is the further danger that people will ignore the importance of empirical research in the fields of educational and instructional science, psychology, and information technology—work that can continue to teach us about good schooling. Thanks to

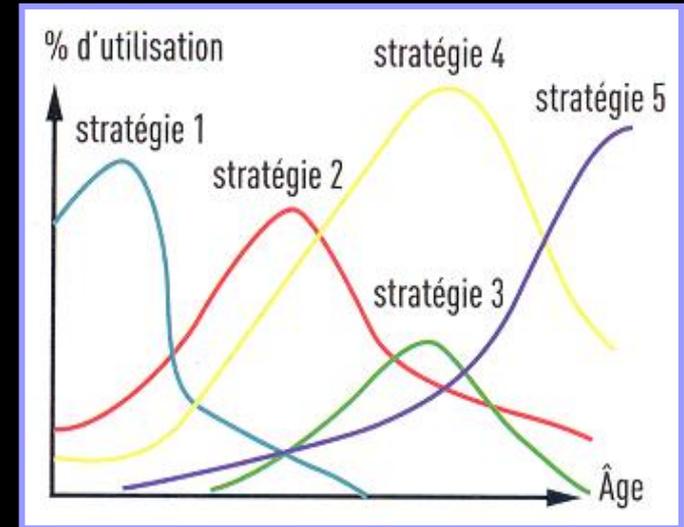
2007



# Les turbulences du développement

Le développement cognitif ne s'opère pas par stades mais par vagues

Différentes stratégies cognitives peuvent se chevaucher, interférer, et donc entrer en compétition à tous les âges du développement



*Robert S. Siegler*

- ▶ L'une des clefs permettant de surmonter ces phénomènes de compétition entre stratégies, et donc d'accéder à la réussite, résiderait dans nos capacités exécutives
  - Particulièrement d'**inhibition**

# Pédagogie du contrôle exécutif

Création d'un **Groupe Formation Action** par notre Inspecteur d'Académie

Durée 3 ans

Constitué de

- 12 enseignants du premier degré (cycles 1, 2 et 3)
- 6 conseillers pédagogiques
- 4 Inspecteurs de circonscription

Objectif

- Développer une pédagogie du contrôle exécutif chez l'enfant d'âge scolaire

**Tester** l'efficacité de différentes conditions d'apprentissage :

**la répétition** de la tâche (ou effet de la pratique)

**l'activation** de la stratégie pertinente

**l'inhibition** de la stratégie non pertinente (heuristique)

# Objectifs des enseignants

---

Repérer une erreur systématique commise par les enfants

Identifier la tâche à résoudre

- Domaine de compétence
- Population d'intérêt (âge, niveau d'étude)
- Matériel
- Consigne(s)
- Stratégie pertinente conduisant à la bonne réponse
- Stratégie non pertinente conduisant à une réponse erronée

Domaines d'étude possibles

- Nombre (la numération, la conservation, la dizaine, les opérations,..)
- Langage (orthographe, grammaire, ..)
- Raisonnement, résolution de problèmes
- Attention (difficulté d'écoute,..)
- ...

# Projet en cycle 1 - Difficultés d'attention sélective

---

*'On va jouer au jeu des bonbons'*

Regarde, il y a des bonbons d'une, de deux ou de trois couleurs. Je t'en donne deux avant de commencer la partie



Je vais lancer les 3 dés – couleur



Tu dois trouver le bonbon qui a les trois couleurs de chacun des dés

Celui qui a le plus de bonbons à la fin, gagne.

Si tu te trompes, tu dois donner un de tes bonbons

# Projet en cycle 1 - Difficultés d'attention sélective

---

Généralement, nombreux sont les enfants qui se précipitent sur les bonbons sans regarder les couleurs !

## Algorithme à activer

Pour répondre à une consigne complexe, être attentif à l'ensemble des éléments d'une consigne

## Heuristique à inhiber

Pour répondre à une consigne complexe inhiber la prégnance de l'action motrice sur l'attention perceptive

# L'Apprentissage sur une tâche isomorphe

---

## *On va jouer à 'Jacques a dit'*

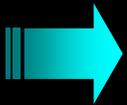
Dans ce jeu, on obéit seulement à Jacques : si Jacques a dit 'debout', on se lève parce que c'est Jacques qui l'a dit.

Si on entend 'debout' : on ne se lève pas car Jacques ne l'a pas dit.

- 1) 'Jacques a dit croisez les bras'
- 2) 'Jacques a dit assis'
- 3) '**Debout**'
- 4) 'Jacques a dit mains sur les yeux'

....

**Algorithmme** être attentif à l'ensemble des éléments d'une consigne



**Heuristique** inhiber la prégnance de l'action motrice sur l'attention perceptive

# Tester différentes conditions

---

## ① Effet de la pratique

- répétition de la tâche des bonbons

## Apprentissage sur le jeu 'Jacques a dit'

- Pour chaque action réussie ou non, la maîtresse propose d'analyser la situation et le moyen de parvenir à la bonne réponse.
- Les enfants sont régulièrement sollicités pour reformuler les propos de la maîtresse.
- L'apprentissage s'arrête lorsque chaque enfant a été capable de reformuler la consigne.

## ② activation de l'algorithme

## ③ inhibition de l'heuristique

# Apprendre à activer l'algorithme

---

## *Etre attentif à l'ensemble des éléments d'une consigne*

Dans ce jeu, on obéit seulement à Jacques : si Jacques a dit 'debout', on se lève parce que c'est Jacques qui l'a dit.

Si on entend 'debout' : on ne se lève pas car Jacques ne l'a pas dit.

### ***'Jacques a dit croisez les bras'***

« Jacques a dit croisez les bras ; Vous avez croisé les bras, c'est bien, Jacques l'a dit et vous lui avez obéi, c'est ce qu'il faut faire.

On continue

### ***'Jacques a dit assis'***

« Jacques a dit assis, je m'assieds parce que c'est Jacques qui l'a demandé »

La maîtresse poursuit

### ***'Debout'***

« Là on aurait envie de se mettre debout parce qu'on a entendu debout. Mais Jacques ne l'a pas dit, donc on reste assis. »

### ***'Jacques a dit mains sur les yeux'***

« Jacques a dit mains sur les yeux, donc je mets mes mains sur mes yeux »

...

# L'apprentissage à l'inhibition de l'heuristique

*Etre attentif à l'ensemble des éléments d'une consigne*

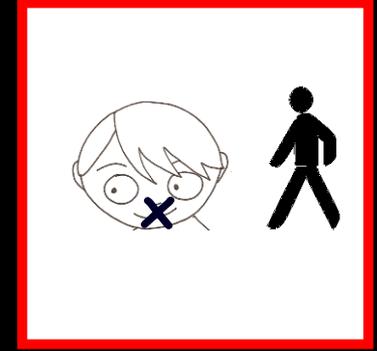
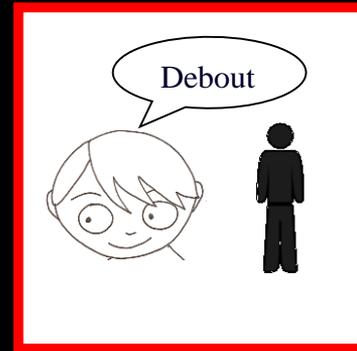
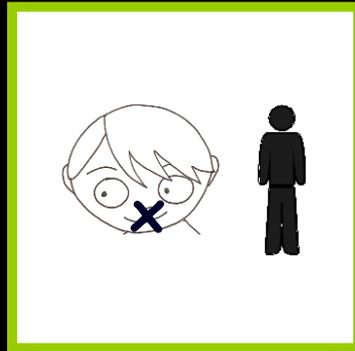
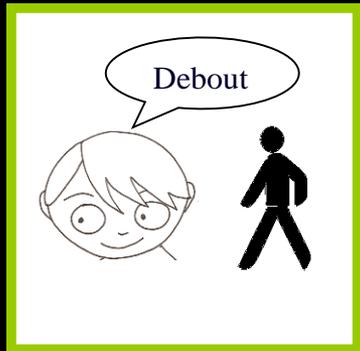
*Inhiber la prégnance de l'action motrice sur l'attention perceptive*

Il est en plus composé d' **alertes verbales et visuo spatiales**

Attention ! Dans ce jeu il y a un **piège**.

Le **piège** c'est d'avoir envie de bouger parce qu'on entend un ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande.

**Attention !** On doit bouger seulement quand Jacques le demande.



**Attention !** Là c'est le **piège** dont on a parlé !

# « L'attrape piège »

---

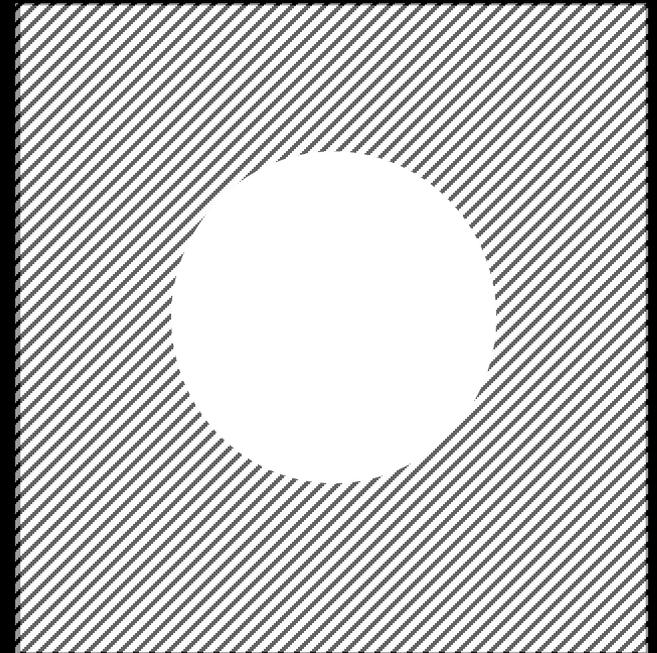
L'enseignant dispose d'un répertoire de schèmes grand format au tableau

Chaque élève dispose de son propre répertoire

Pour ne pas faire d'erreur, et tomber dans le piège,  
les mauvaises réponses - *les cartes rouges* -  
vont être placées dans l'*attrape-piège* sous  
les rayures  
et les bonnes réponses - *les cartes vertes* -,  
on va les mettre dans le rond du milieu là où il  
n'y a pas de rayures.

**Attention**, il faut bien se concentrer et  
écouter !

Il faut savoir qui commande.

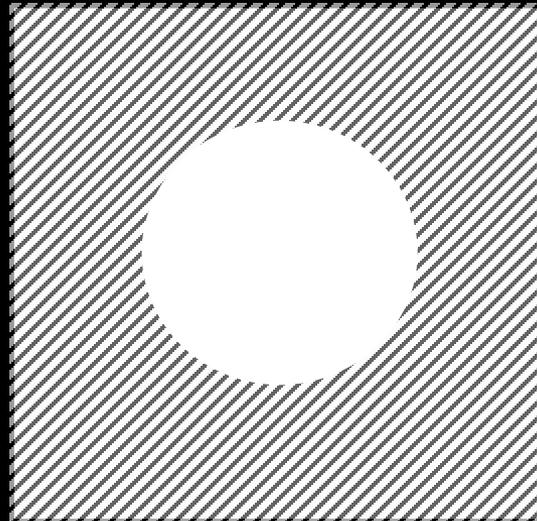


# L'apprentissage exécutif

---

## 'Jacques a dit croisez les bras'

Jacques a dit croisez les bras ; Vous avez croisé les bras, c'est bien, Jacques l'a dit et vous lui avez obéi, c'est ce qu'il faut faire. **bravo !**



# L'apprentissage exécutif

---

## 'Debout'

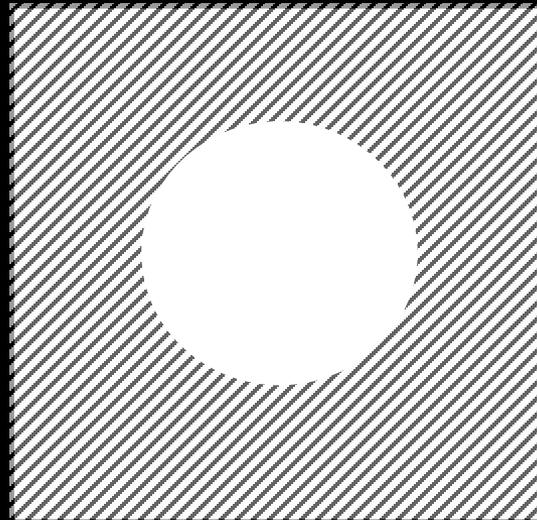
Là on aurait envie de se mettre debout parce qu'on a entendu debout.  
Mais **attention** ! Jacques ne l'a pas dit, donc **stop** ! on reste assis.

Ici on peut tomber dans le **piège** dont on a parlé au début.

Écoutez bien : le **piège** c'est d'avoir envie de bouger parce qu'on entend un ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande.

**Attention** ! Je dois bouger seulement quand Jacques le demande.

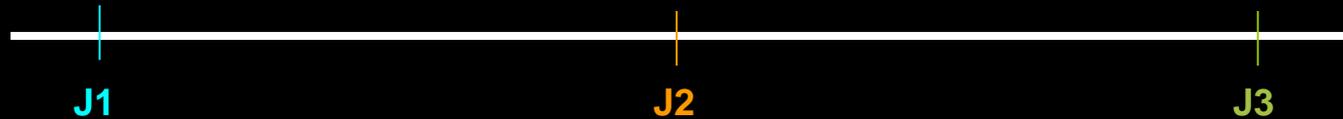
C'est Jacques qui commande.



# Protocole

---

Petite, Moyenne et, Grande sections de maternelle



**Premier jour :** jeu 'des bonbons' par groupe de 6 élèves

**Deuxième jour :**

Groupe A : répétition du jeu des bonbons

Groupe B : jeu du 'Jacques à dit' le matin et Apprentissage activant l'après-midi

Groupe C : jeu du 'Jacques à dit' le matin et Apprentissage exécutif l'après midi

**Troisième jour :** jeu des bonbons pour tous

Passations à partir du 26 Avril 😊

# Notre équipe

- ▶ Olivier Houdé, Dir., Pr Paris Descartes
- ▶ Céline Lanoë, Mc IUFM Caen
- ▶ Amélie Lubin, Mc Paris Descartes
- ▶ Arlette Pineau, Mc Caen
- ▶ Nicolas Poirel, Mc Paris Descartes
- ▶ Sylvain Moutier, Pr Paris Descartes

## Ingénieurs:

- ▶ Gaëlle Leroux, IR Paris Descartes
- ▶ Guy Perchey, IE CHU Caen
- ▶ Marie-Renée Turbelin, IE CHU Caen

## Etudiants:

- ▶ Mathieu Cassotti, Post doc
- ▶ Sébastien Deshayes, M2R
- ▶ Mariane Habib, Doctorat
- ▶ Pauline Viel, M1

