

# Les neurosciences au service des apprentissages



Nicolas TRIBOUT

Doctorant en psychologie cognitive

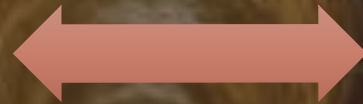
Conseiller pédagogique Luxeuil

Avant-propos ...

Neurosciences

Psychologie  
cognitive

Psychologie



# PROGRAMME D'ENTRAINEMENT CEREBRAL™

## avancé

du Dr Kawashima :

### Quel âge a votre cerveau ?



CONTINUEZ VOTRE ENTRAINEMENT  
CEREBRAL EN EFFECTUANT D'AUTRES EXERCICES.  
PLUS DE 10 MILLIONS D'UTILISATEURS REGULIERS  
DANS LE MONDE.

## Neuroéducation : attention danger !

- **Bruno Della Chiesa** connu pour avoir forgé les termes « **neuromythe** » (2002) et « **neuro-pirates** » (2013).
- La neuroscience est désormais populaire dans le milieu éducatif : se méfier du phénomène de mode.
- En raison du côté vendeur du cerveau, le marché est abreuvé de prétendus « programmes de formation » ou de « méthodes clé en main »
- Se rappeler les limites de la discipline

Della Chiesa, B.(2002).Comprendre le cerveau – Vers une nouvelle science de l'apprentissage. Paris: OCDE/Maison des Sciences de l'Homme.



Pédagogue de terrain

Chercheur

*Une "caste de pédagogues prétentieux" qui serait à l'origine des problèmes actuels de l'Education nationale.*



**Harold PASHLER**



**Catherine GUEGUEN**



**Olivier HOUDE**



**Stanislas DEHAENE**

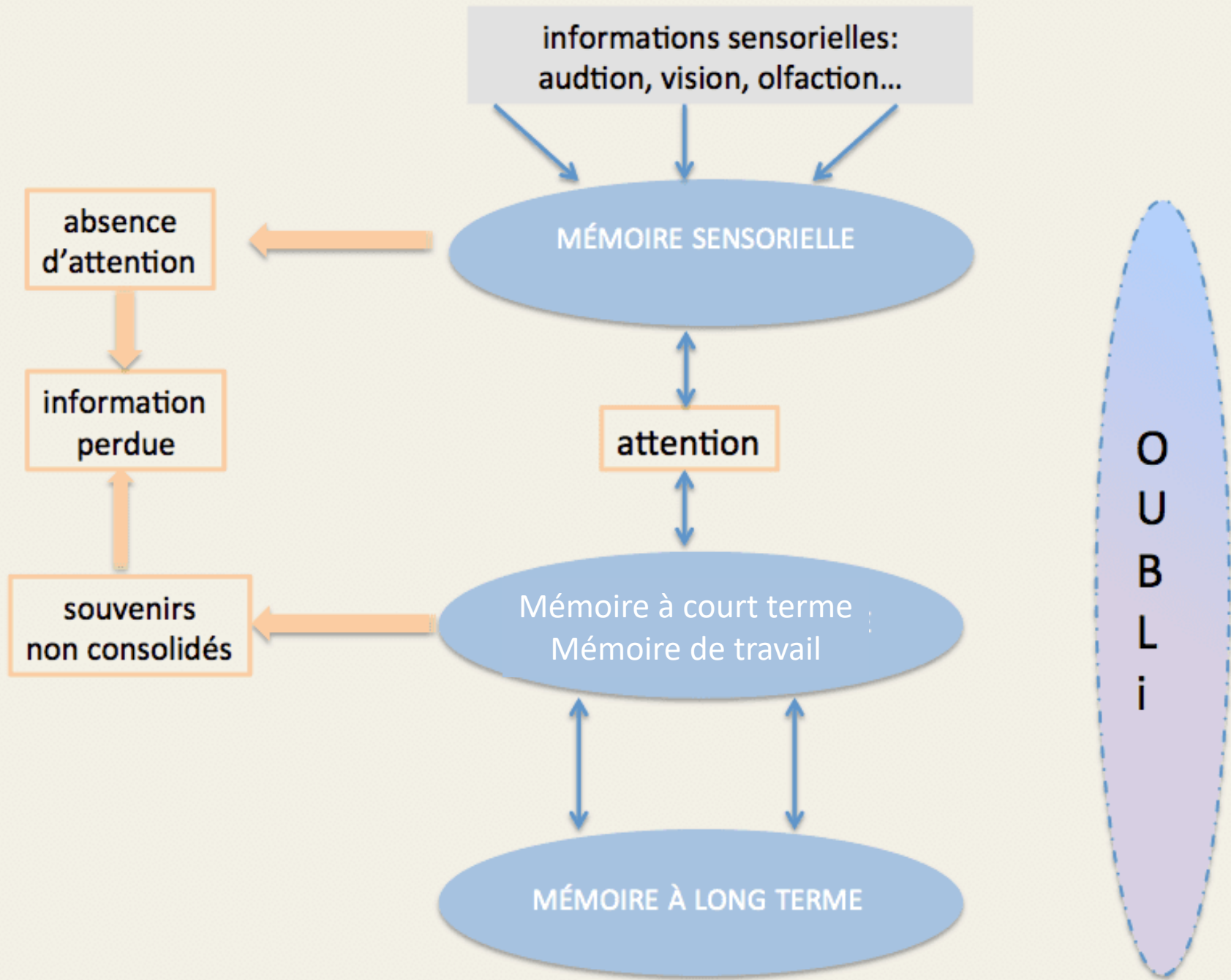
## 4 Piliers de l'apprentissage (Dehaene 2014)

- L'attention
  - L'engagement/la motivation
  - Erreur et retour d'erreur (feedback)
  - Optimisation de la mémoire
- +
- Les neurosciences affectives



L'attention





# L'attention

- L'ensemble des mécanismes qui nous permettent de :
  - **sélectionner une information**
  - **et ses étapes de traitement**
- Elle peut **faciliter l'apprentissage**, mais aussi l'orienter dans la mauvaise direction.
- Le talent d'un enseignant consiste à **canaliser, captiver et orienter** l'attention de l'élève (Dehaene, 2014).



# 3 systèmes attentionnels

1 L'alerte

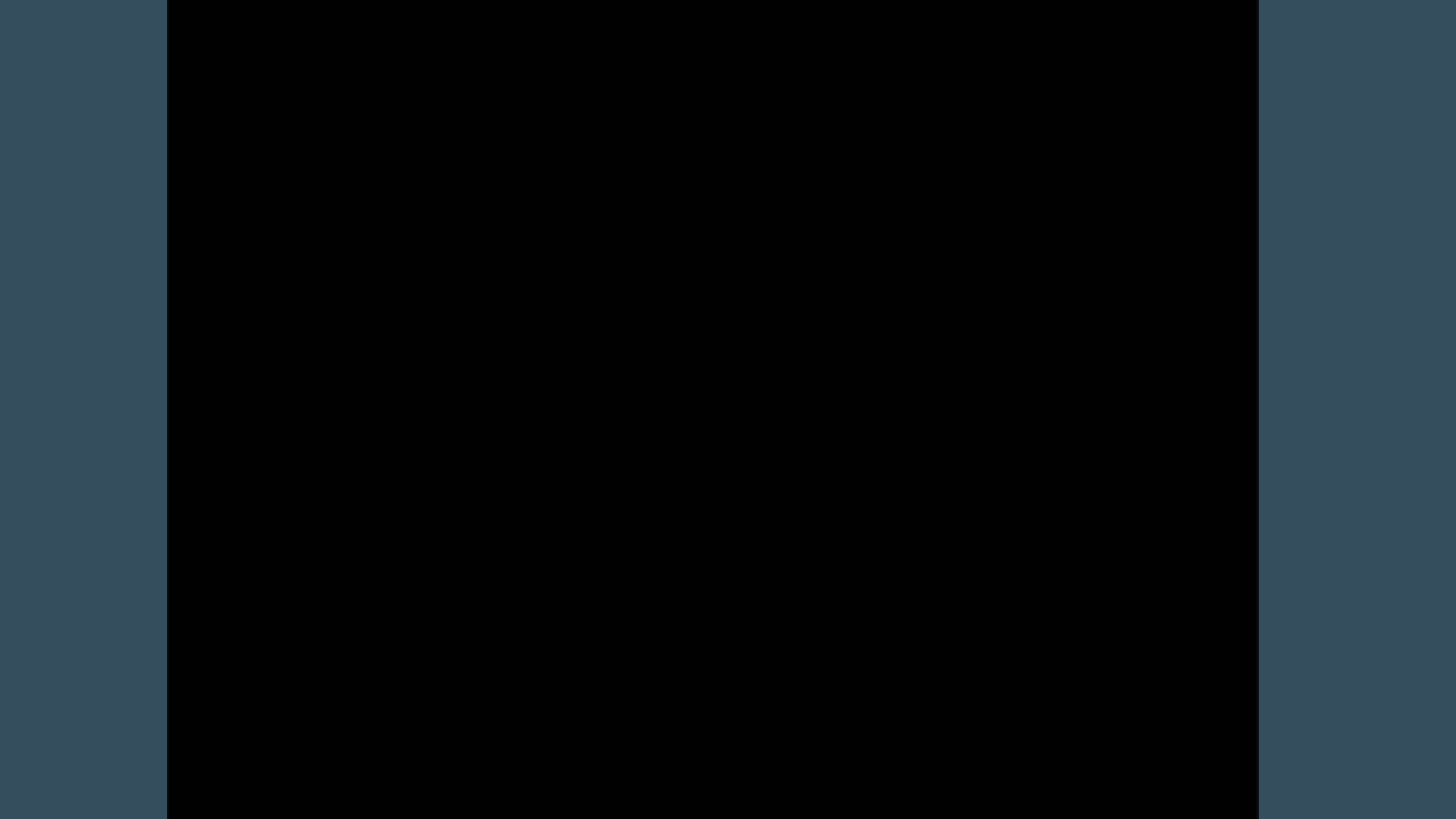
2 L'orientation

3 Le contrôle exécutif

# (1) L'alerte

- Modulation globale de la vigilance
- L'attention est fortement dépendante de ce qui se passe dans notre environnement (**facteurs externes**), mais aussi de **facteurs internes** tels que la motivation, la fatigue, les priorités, l'intérêt porté à une activité
- Prendre en compte le rôle du sommeil, l'importance des pauses, de l'activité physique, de la nutrition

→ **Emploi du temps**



## (2) L'orientation

- La capacité à **focaliser** son attention sur le bon stimulus.
- Lorsque nous sommes engagés dans une tâche donnée, les stimuli non-pertinents peuvent devenir littéralement **invisibles**.
- L'enseignant doit créer des matériaux attrayants mais qui ne distraient pas l'enfant de sa tâche primaire. Tout doit être mis en œuvre pour **orienter l'attention** vers le niveau pertinent.



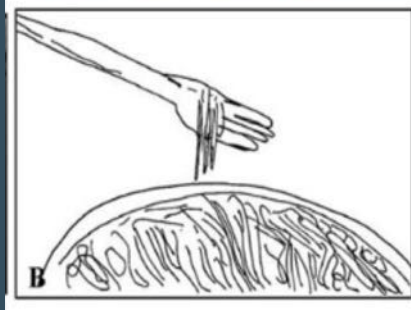
## Cécité au changement

Rensink, 1997



## Extension du champ

Intraub, 1989



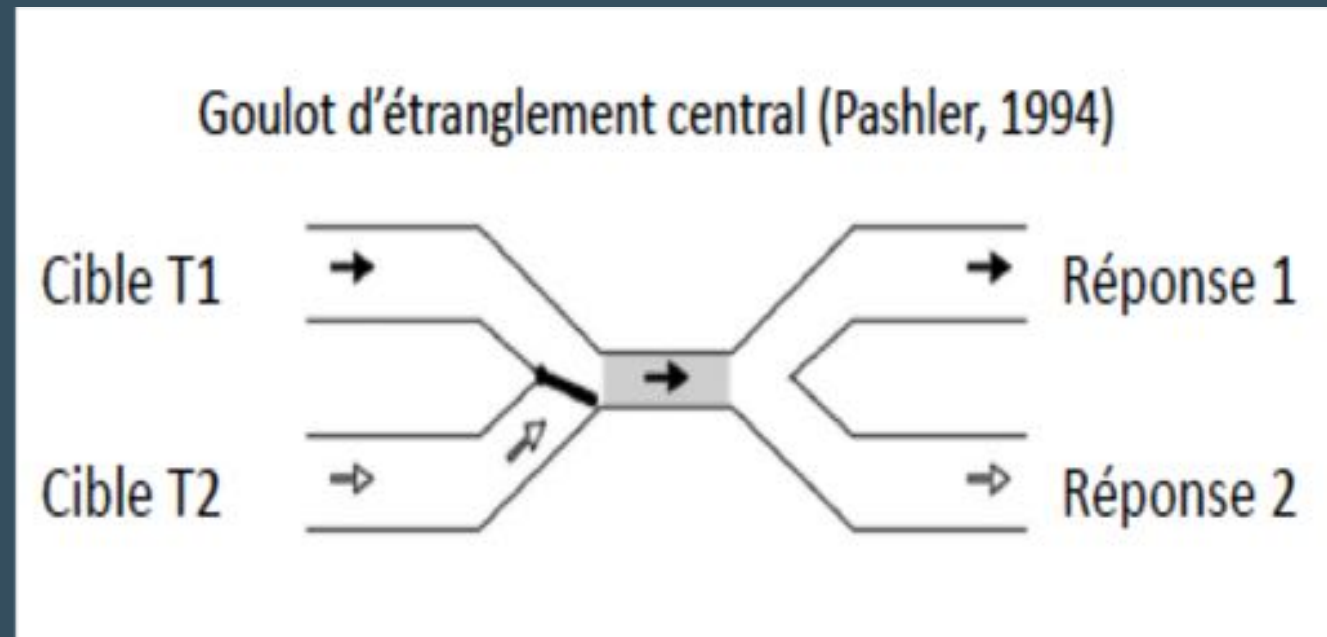
## Mémoire des détails

Brady, Konkle, Alvarez et Olivia, 2008



# Le goulot d'étranglement

- Le traitement de la cible T2 est massivement différé (**période psychologique réfractaire**).





# L'effet cocktail party



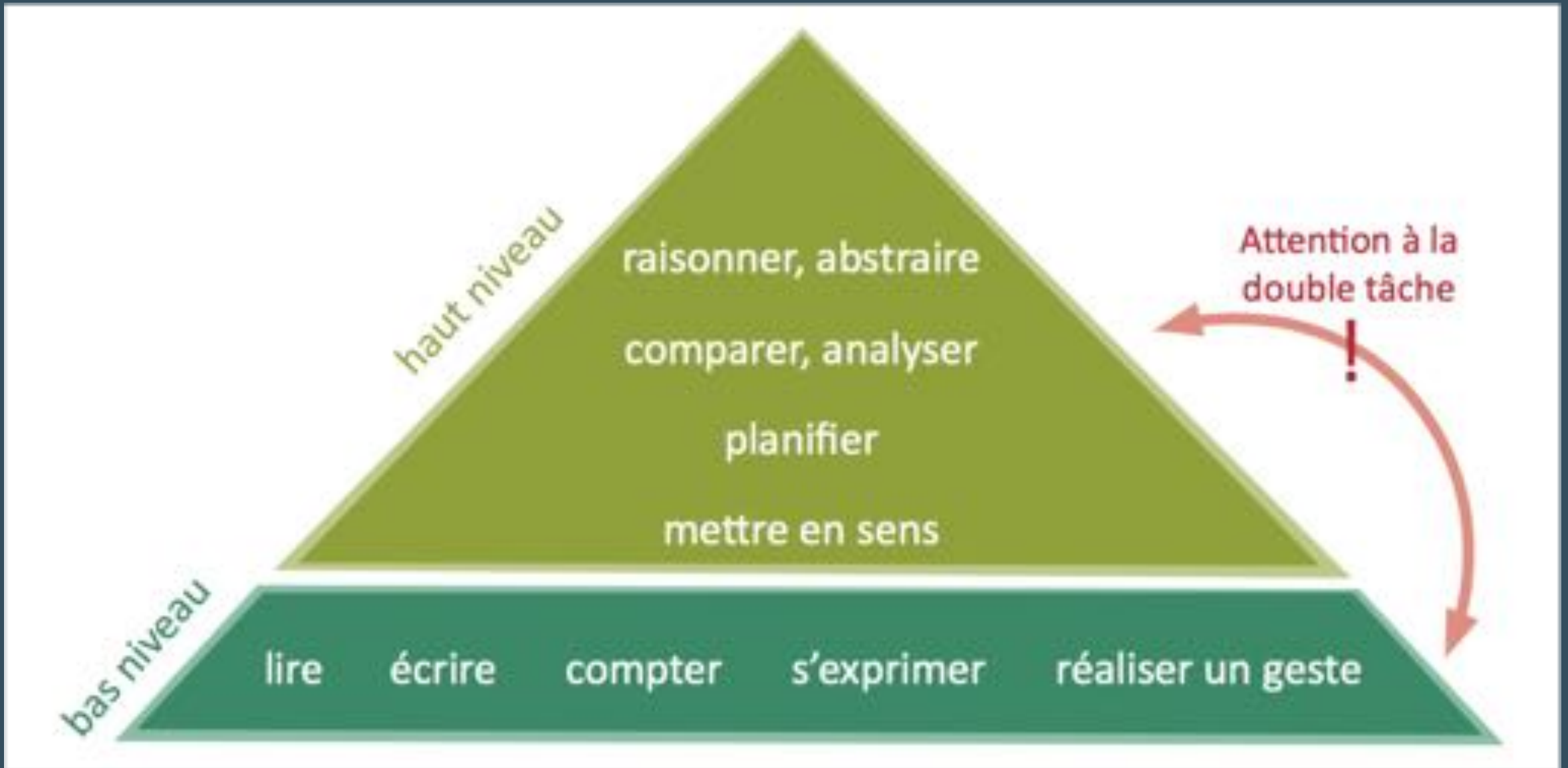
Moray, Neville (1959). "Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions" . *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 11 (1): 56–60.

# La double tâche



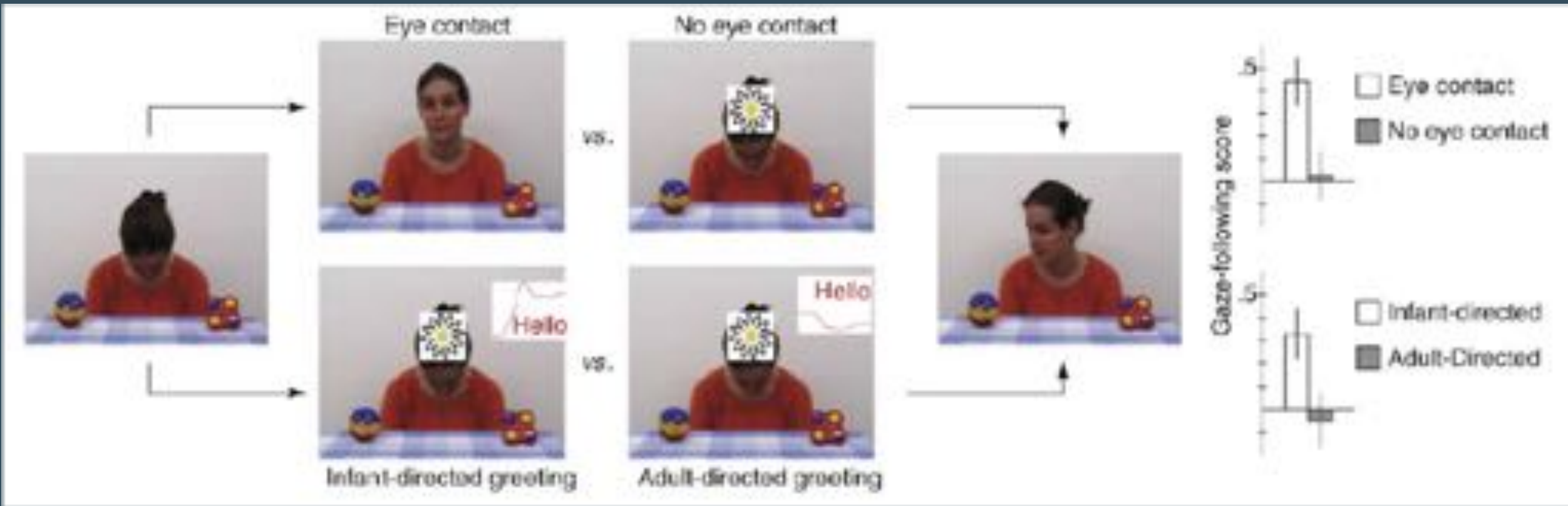
Situation qui met en jeu simultanément **deux tâches cognitives** et nécessite de partager son attention.

- Lorsque le cerveau est occupé à gérer une **tâche non automatisée**, toutes les ressources attentionnelles sont sollicitées par cette activité. Celles-ci **ne peuvent se répartir sur d'autres actions cognitives**.
- Cette situation est souvent problématique et majore les difficultés chez les **enfants dys-**. *Exemple : écrire et réfléchir en même temps.*



# Focaliser l'attention

- Dans l'espèce humaine, l'orientation de l'attention dépend de **signaux sociaux** qui déterminent l'apprentissage
- Ces « signaux sociaux ostensibles » (contact visuel ou verbal) induisent une « **posture pédagogique** » chez l'enfant.

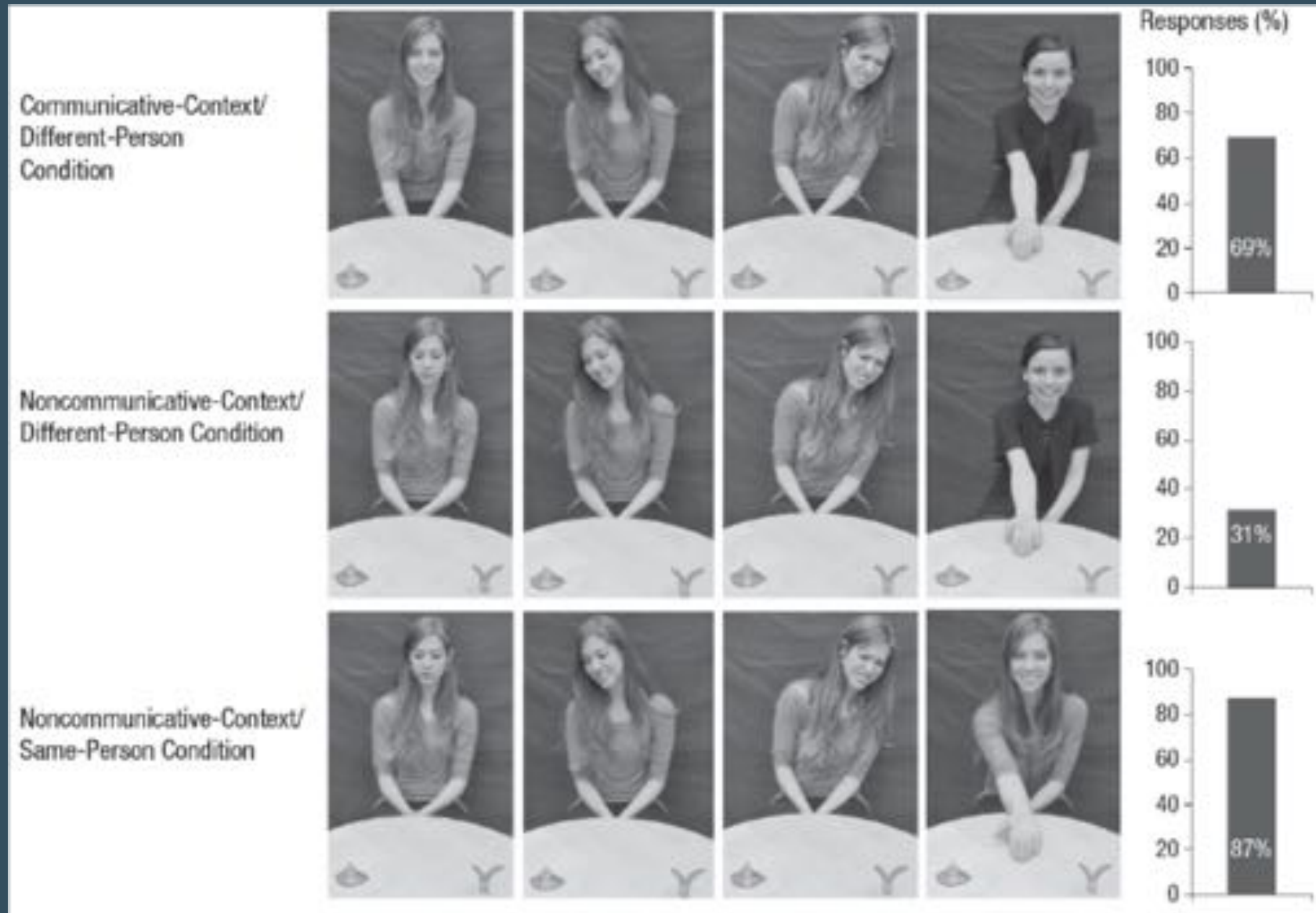


Les enfants de six mois sont sensibles au **contact visuel ou verbal** et l'utilisent pour suivre le regard.

L'attitude de l'enseignant est donc essentielle : **capter l'attention** de l'enfant par le contact visuel et verbal

Senju, A., & Csibra, G. (2008). Gaze following in human infants depends on communicative signals. *Current Biology: CB*, 18(9), 668–671.

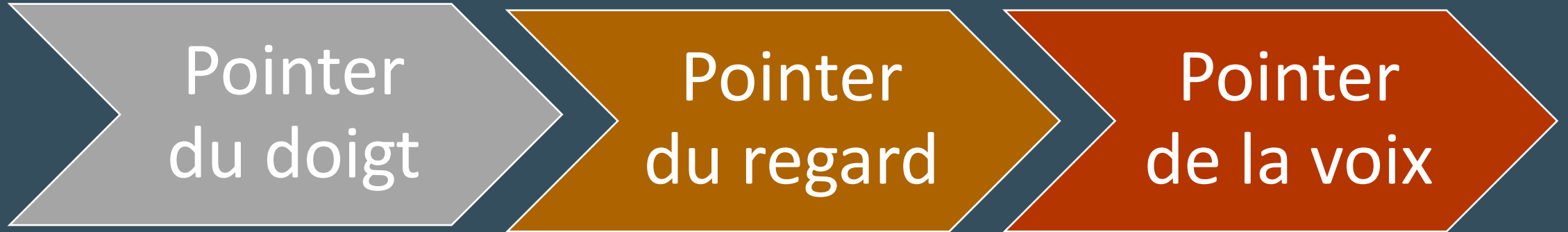
# La généralisation



# La généralisation

- L'apprentissage en société permet l'acquisition rapide de **connaissances génériques ou sémantiques**.
- Le cerveau de l'enfant interprète spontanément les indices de communication ostensible comme ayant plus de chances de véhiculer des informations génériques, qui vont **au-delà des informations épisodiques** ou spécifiques à une personne donnée.

# Le Triptyque attentionnel





## (3) Le contrôle exécutif

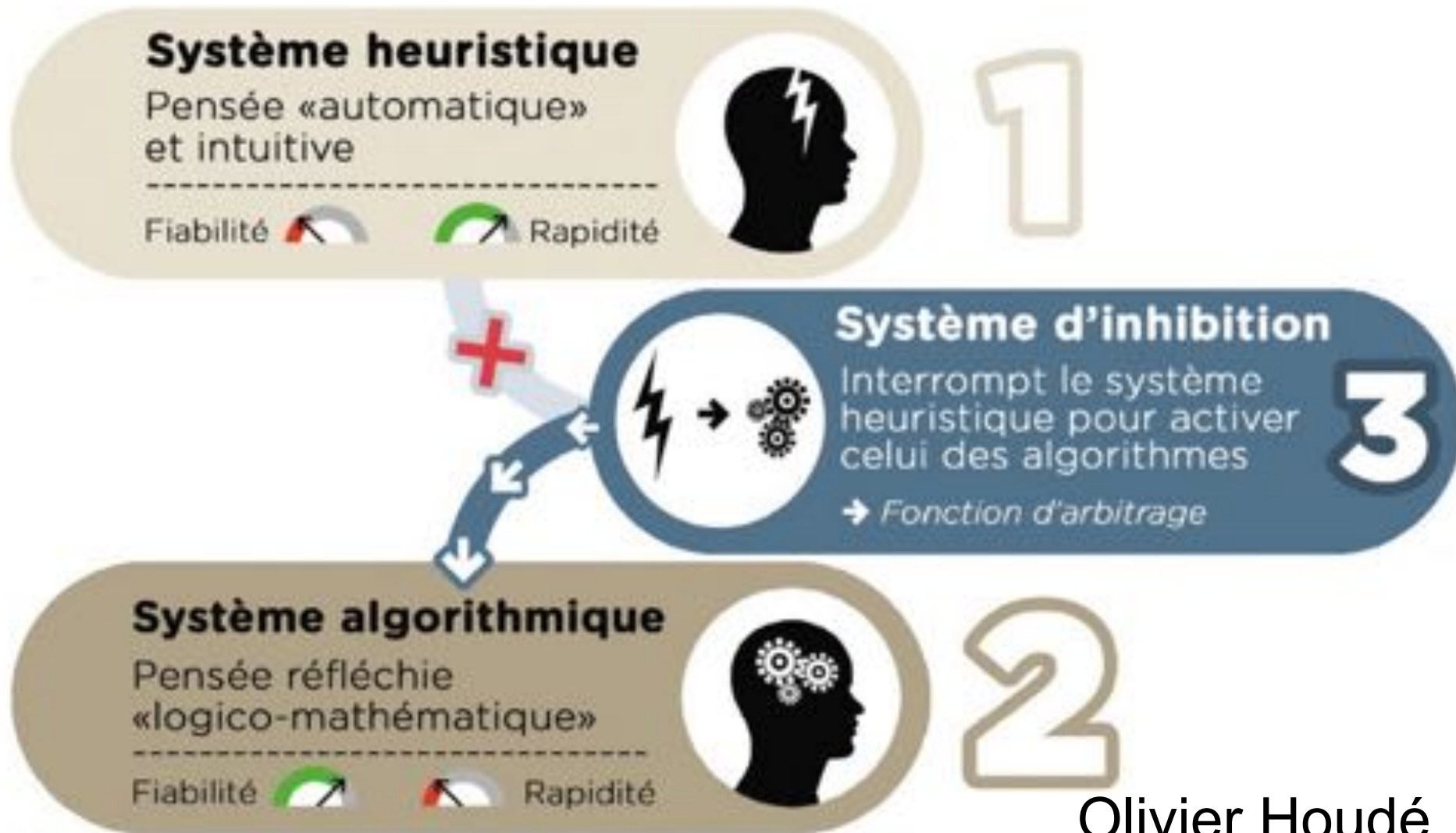
Compétences cognitives qui nous permettent **d'agir de façon organisée pour atteindre nos objectifs.**

Parmi les processus qui relèvent du contrôle exécutif figurent

- Le maintien d'un but
- La sélection des représentations perceptives, des actions et des opérations pertinentes
- **L'inhibition des actions inappropriées**
- La détection et la correction des erreurs

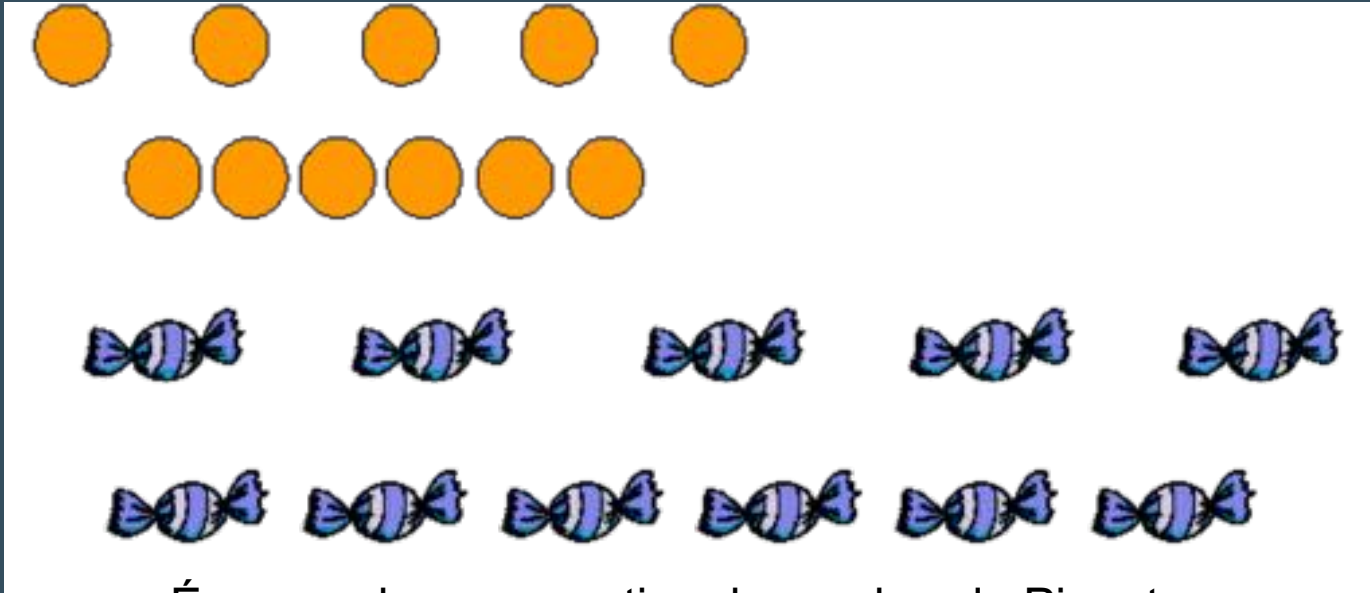


# Les trois systèmes cognitifs

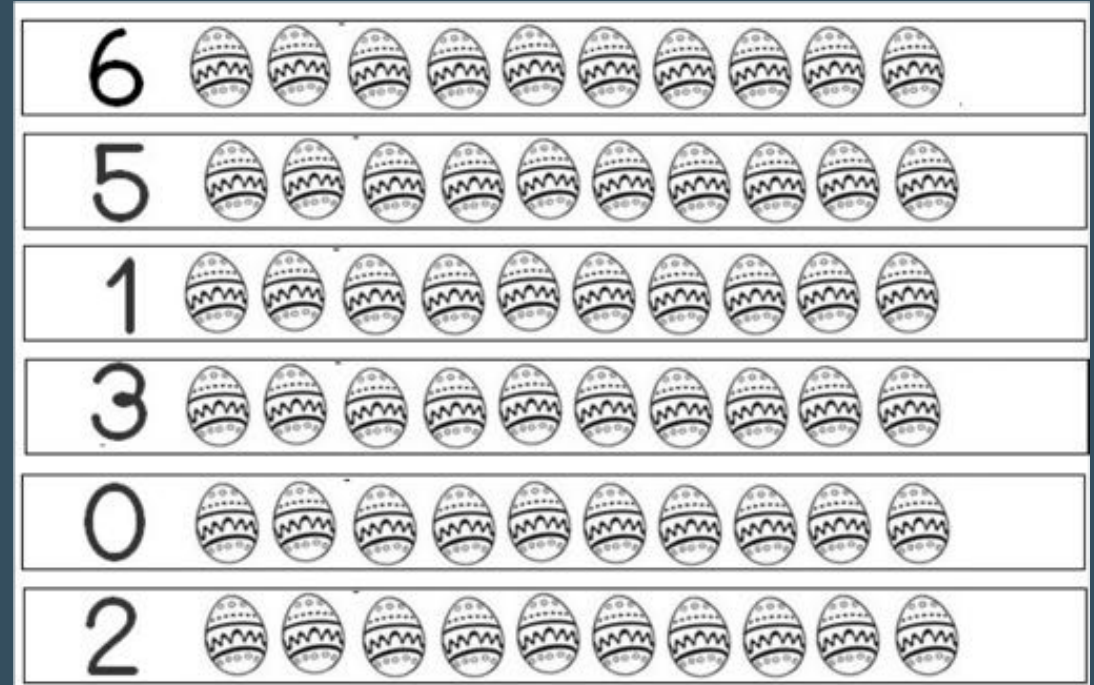


Olivier Houdé

# L'inhibition



Épreuve de conservation du nombre de Piaget



# L'inhibition



Conservation de la substance

# L'inhibition



*Louise a 25 billes. Elle a 5 billes de plus que Léo.  
Combien Léo a-t-il de billes ?*

- L'élève **ne parvient pas à inhiber** l'automatisme implicite : il y a le mot plus alors j'additionne ( $25+5=30$ ) afin d'activer la soustraction ( $25-5=20$ )
- Le système 3 demande un coût plus important

# L'inhibition

- « Je les mang... » « Je vous le dir... »
- L'élève **ne parvient pas à inhiber** l'accord avec le mot le plus proche.
- Inutile donc de répéter, au-delà du nécessaire, les règles logiques de l'addition et de la soustraction (Système 2).
- Faire prendre conscience de l'erreur pour **inhiber les automatismes**

# Apprendre à inhiber

- Il existerait un lien entre **activité physique** et inhibition.
- Les personnes qui parlent **deux langues** (ou plus) couramment ont une capacité d'inhibition supérieure à la moyenne. Cet état de fait soutient l'idée d'un apprentissage précoce d'une langue étrangère.
- Jouer à des **jeux de contrôle** permettrait de développer les mécanismes d'inhibition cérébrale.
- Prévenir les apprenants de **l'existence de pièges** et leur apprendre à les reconnaître favorise l'inhibition cérébrale.
- En plus de demander aux élèves de trouver les réponses justes, il serait pertinent de leur apprendre à identifier et **trier les réponses pièges**.

# Des jeux pour apprendre à inhiber

- Le ni OUI ni NON
- Jacques a dit
- 1 2 3 soleil
- Jacques a dit
- Chameaux/Chamois
- L'âne têtue
- ROUGE VERT JAUNE
- ...



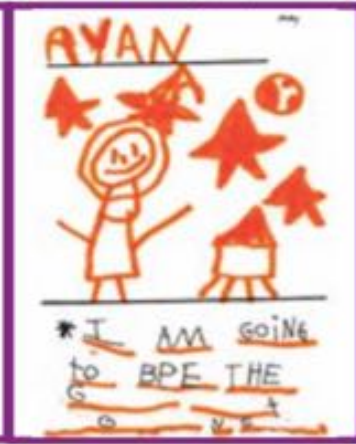




Credit: Morey Kitzman

**Figure S1.** Two preschoolers engage in "Buddy Reading." The ear line-drawing held by one girl helps her to remember to listen.

Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, 318(5855), 1387–1388.



Credit: Morey Kitzman

**Figure S3.** (Left and middle) Children in Tools "writing" in words and drawings their play plans. (Right) A child's play plan with his own written description of the play using estimated spelling. It says, "I am going to be the guy that goes into space."



Credit: Sandra Peyser

**Figure S4.** Children in Tools engaged in social pretend (or 'dramatic') play.



# Engagement et erreurs

# Modèles d'apprentissage

De nombreux modèles de l'apprentissage (**cerveau Bayésien**/statisticien, Dehaene), suggèrent que :

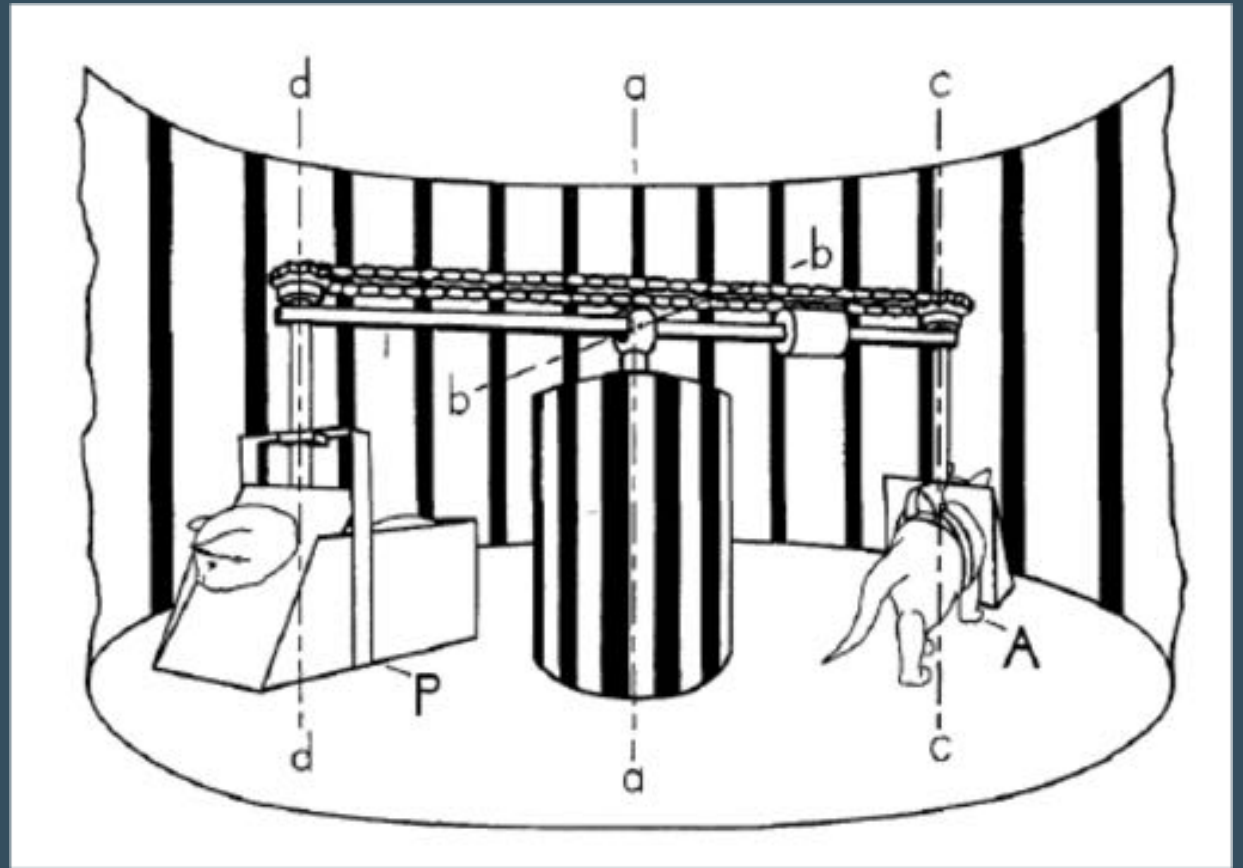
- Le cerveau génère en permanence des **prédictions** sur le monde extérieur
- La **comparaison** avec la réalité génère un signal d'erreur (surprise)
- Le modèle interne est **ajusté** afin de minimiser ce terme d'erreur
- Ainsi, la prochaine fois, la prédiction sera **mieux ajustée à la réalité**
- L'apprentissage cesse lorsque l'erreur est nulle.

Ce modèle suggère que deux ingrédients sont indispensables à l'apprentissage :

1. **L'engagement actif** : la génération d'une anticipation sur le monde extérieur
2. **Le retour d'information** : L'organisme doit apprendre, le plus immédiatement possible, s'il a fait une erreur

# L'engagement actif

- Maximiser la curiosité et la **prédiction active**
- Très peu d'apprentissage quand on est passif
- Apprentissage = **différence** entre ce que j'anticipe et ce que je reçois



Expérience classique de Held & Hein (1963)

# Effort cognitif

- « *Les notes étaient aiguës parce que la couture s'est déchirée* »

Indice : *Cornemuse*

- **Effort after meaning**

- Oblige les élèves à un surcroît d'engagement et d'effort cognitif (Dehaene, 2014)
- « Rendre les conditions d'apprentissage plus difficiles, ce qui oblige les élèves à un **surcroît d'engagement** et d'effort cognitif, conduit souvent à une meilleure rétention. »

# Les feedback

- La théorie de l'apprentissage distingue trois formes d'apprentissage :
  - **Non-supervisé** : le système internalise les régularités des stimuli qu'il reçoit, sans qu'une distinction soit faite entre les entrées et les sorties désirées.
  - **Supervisé** : à chaque essai, le système est informé de la réponse qui aurait été correcte.
  - **Par récompense** : le système ne reçoit qu'un scalaire (se résume à un simple nombre, une note)
- **L'apprentissage supervisé est le plus efficace**. L'apprentissage par récompense pose un difficile problème d'attribution : il est difficile de savoir quel choix (parmi tous ceux effectués) a conduit à l'erreur, surtout si un délai intervient.

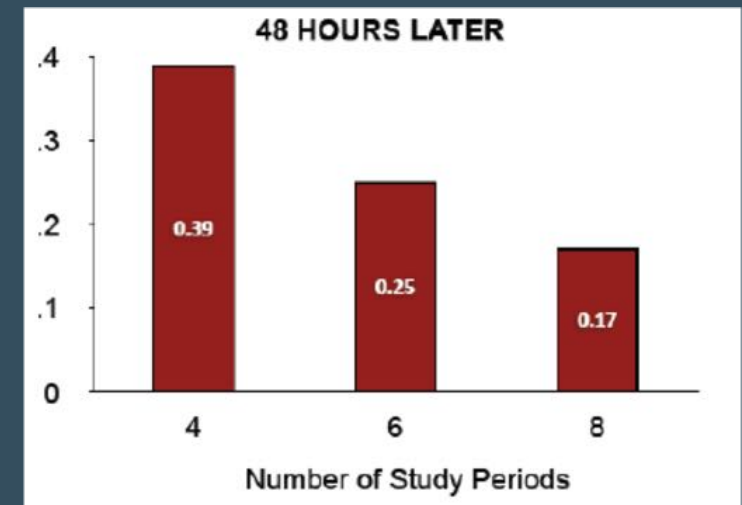
# L'effet des tests

- Des centaines de travaux montrent que **se tester améliore l'apprentissage** et **la rétention** à long terme
- Expérience de Karpicke et Roediger (2008, science) : tâche apprentissage de vocabulaire de mots étrangers (mots Swahili-anglais)
- 3 conditions expérimentales :

ST ST ST ST = 4 phases étude + 4 phases test

ST SS ST SS = 6 phases étude + 2 phases test

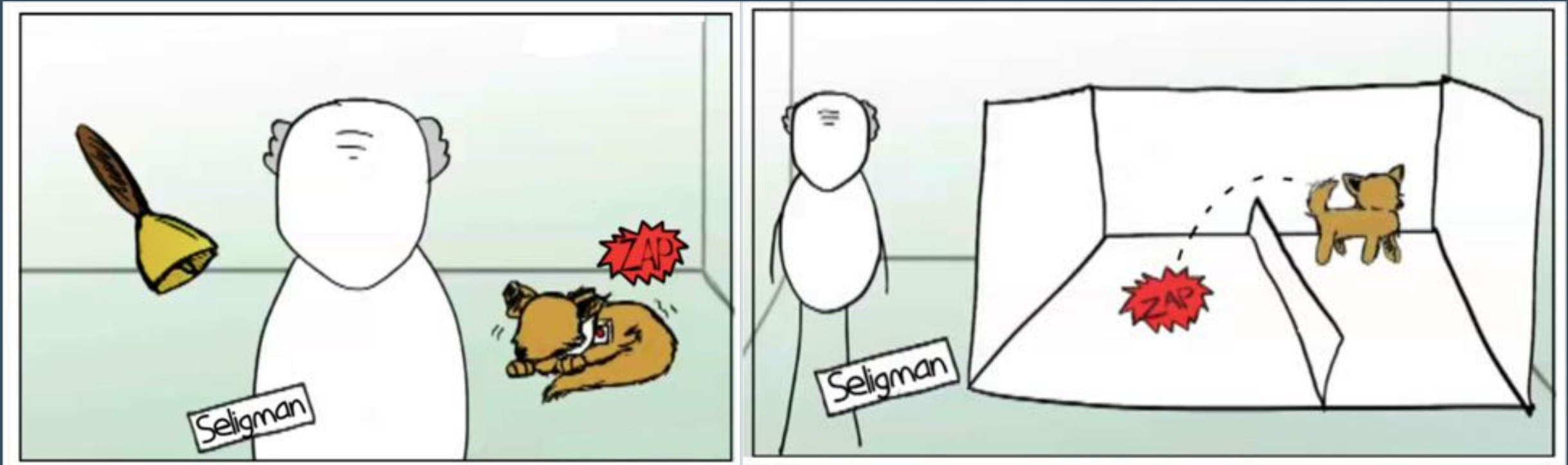
SS SS SS SS = 8 phases étude + 0 phases test



→ Apprentissage optimal lorsque l'enfant **alterne phases d'étude et phases de test** de ses connaissances



# La motivation



<http://eosmith.com/still-money-learned-helplessness-greed-part-1/>

# Apprendre la résignation



<http://eosmith.com/still-money-learned-helplessness-greed-part-1/>

# Dans les classes...

ZEN  
ROUSSI  
ELUES

BUREAU  
WAGON  
ELUES

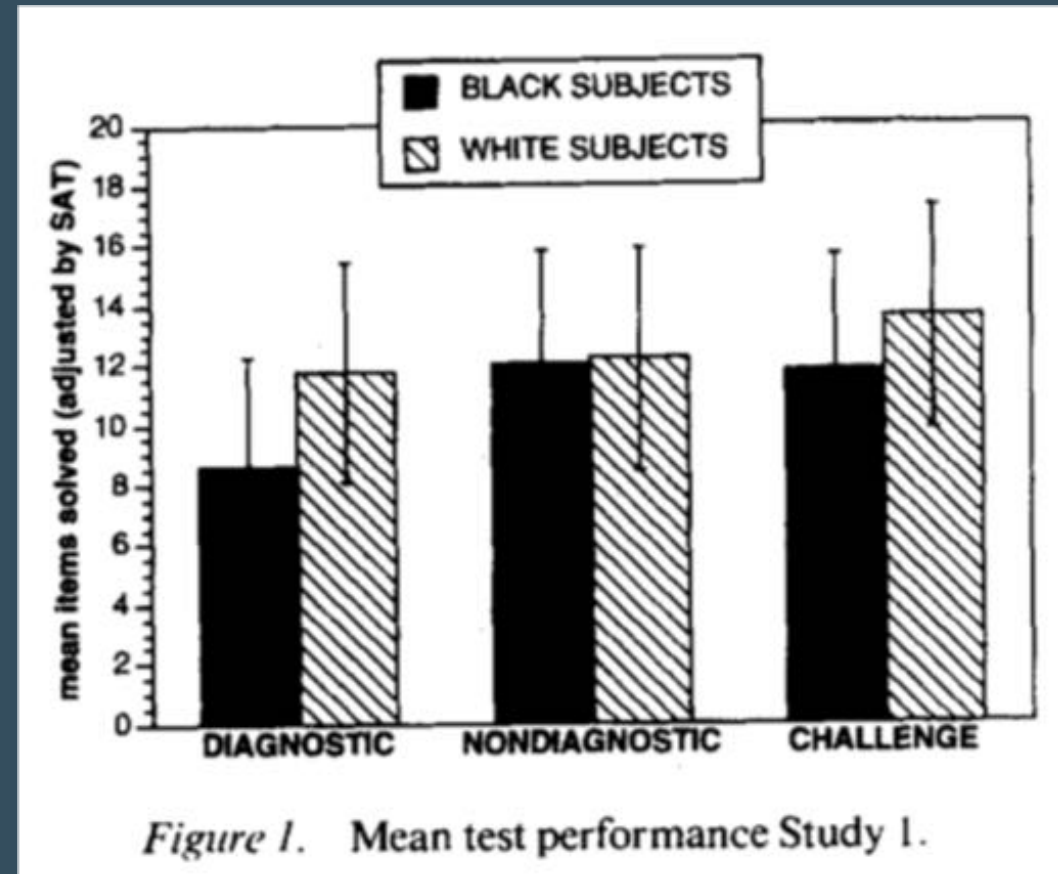
*« Je me suis sentie nulle »*

*« Je n'ai même pas essayé de faire la dernière »*

# La menace du stéréotype

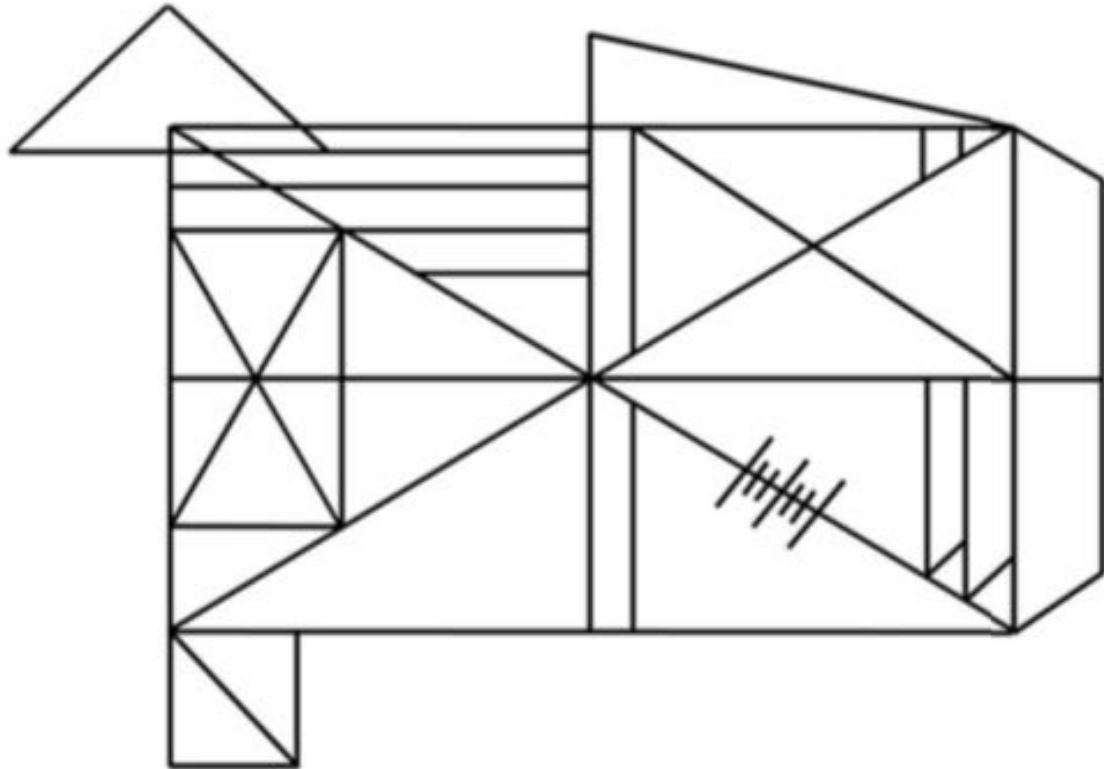
## Présentation de la tâche :

- mesure des capacités intellectuelles
- résolution de problème
- un jeu/un défi

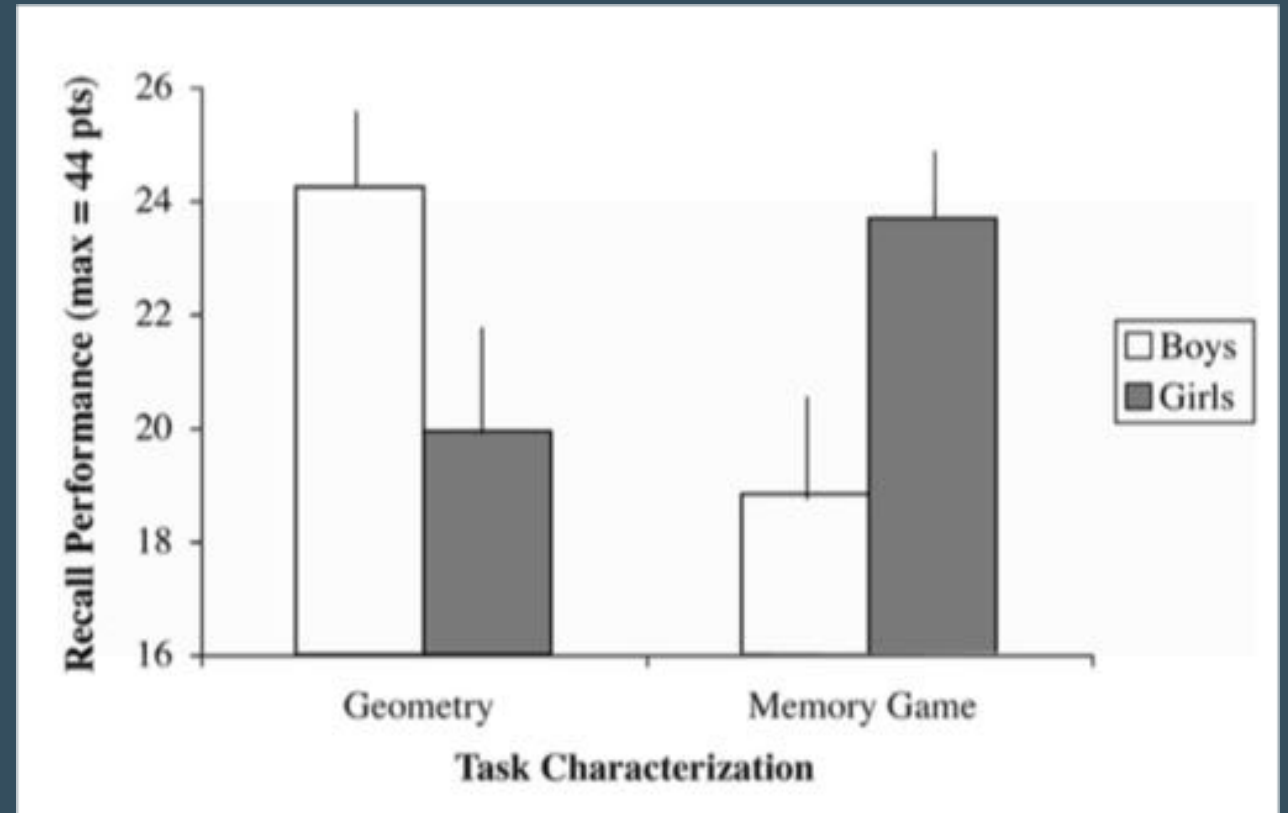


Claude M. Steele et Joshua Aronson, « Stereotype Threat and the Intellectual Test Performance of African Americans », *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 69, n° 5, novembre 1995, p. 797-811

# La menace du stéréotype



Adapted from the Rey-Osterrieth Complex Figure (ROCF)



P. Huguet et I. Régner, « Stereotype Threat Among Schoolgirls in Quasi-Ordinary Classroom Circumstances », *Journal of Educational Psychology*, vol. 99, n° 3, août 2007, p. 545-560

# La pédagogie MARVEL !



# Power Posing



- La **posture du super-héros** est bonne pour l'estime de soi
- Prendre la position pendant 2 minutes permet d'augmenter le taux de testostérone de 20% et baisser le taux de cortisol de 30%.

Dana R. Carney<sup>1</sup>, Amy J.C. Cuddy<sup>2</sup>, and Andy J. Yap . (2010). Dana R. Carney<sup>1</sup>, Amy J.C. Cuddy<sup>2</sup>, and Andy J. Yap. *Psychological Science* 21(10) 1363–1368.

Cuddy, Amy J.C., Caroline A. Wilmuth, and Dana R. Carney. "The Benefit of Power Posing Before a High-Stakes Social Evaluation." *Harvard Business School Working Paper*, No. 13-027, September 2012.

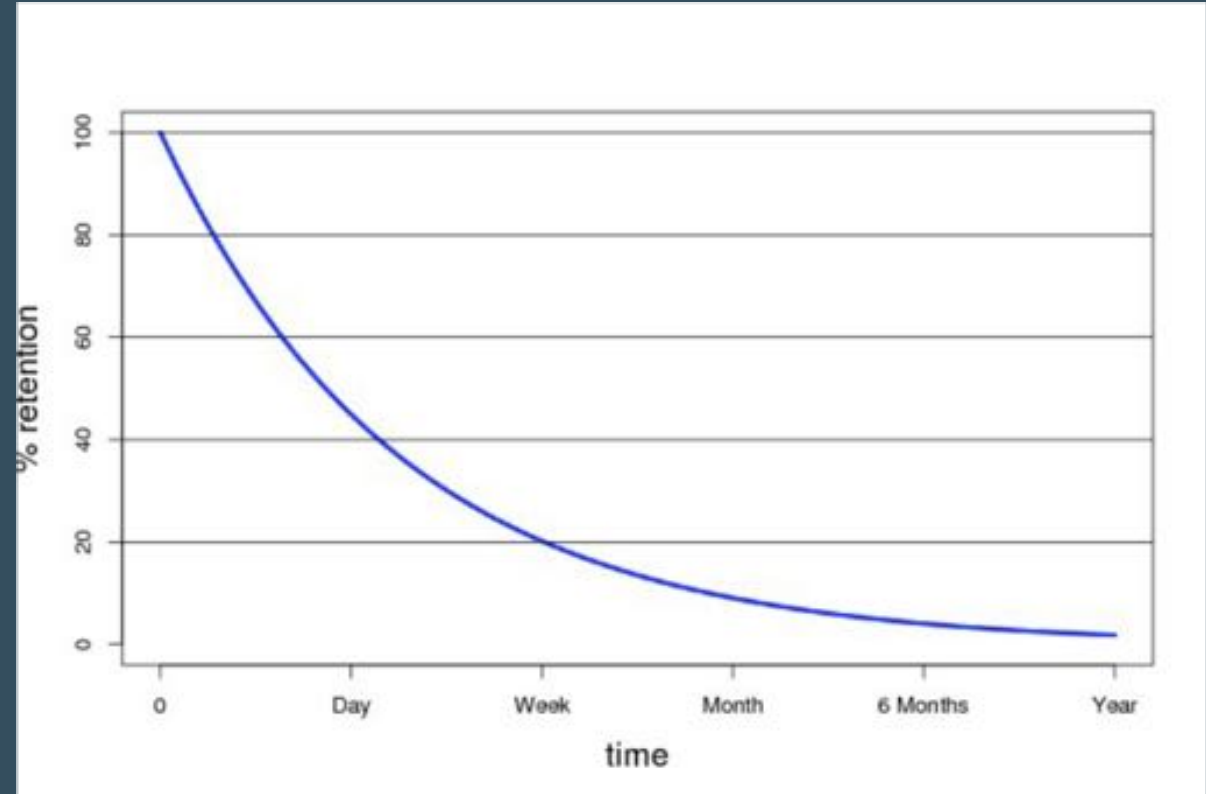


L'optimisation de la mémoire



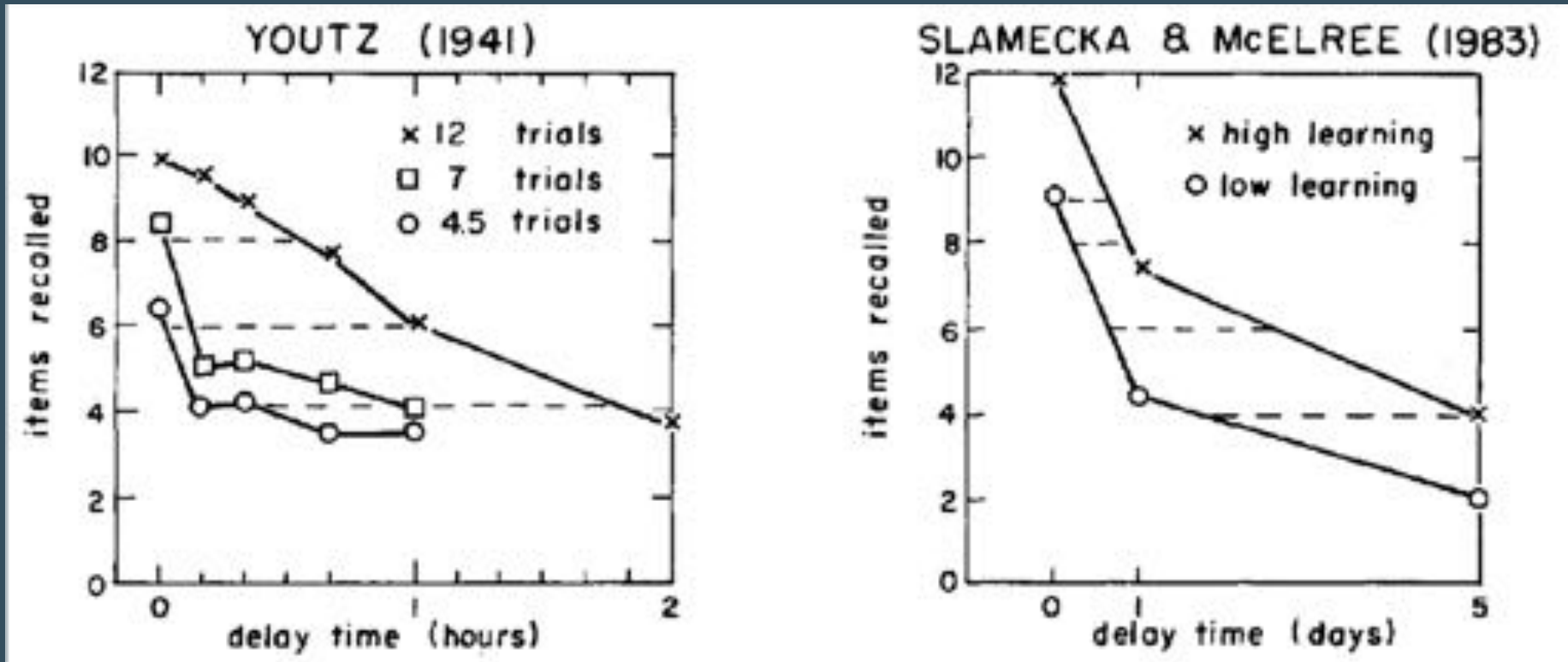
# L'oubli

- Ebbinghaus (1885)
- Avoir conscience qu'oublier est un **processus normal** et **nécessaire** est déjà un premier pas vers l'évolution des pratiques
- Eustache (2014), la sémantisation et la **généralisation** ne peuvent se produire sans l'oubli des caractéristiques initiales
- Il apparaît plus pertinent de chercher comment **retarder** l'oubli



# Le sur-apprentissage

- Loftus (1985) réanalyse de nombreuses données et montre que l'oubli est (légèrement) plus lent lorsque les faits initiaux ont été **sur-appris**. Il semble donc possible de prolonger la mémoire.



# Les niveaux de traitement

Craik et Tulving (1975) demandent à des étudiants différents jugements sur les mêmes 60 mots :

- Est-il imprimé en majuscules?

(**Traitement graphique**)

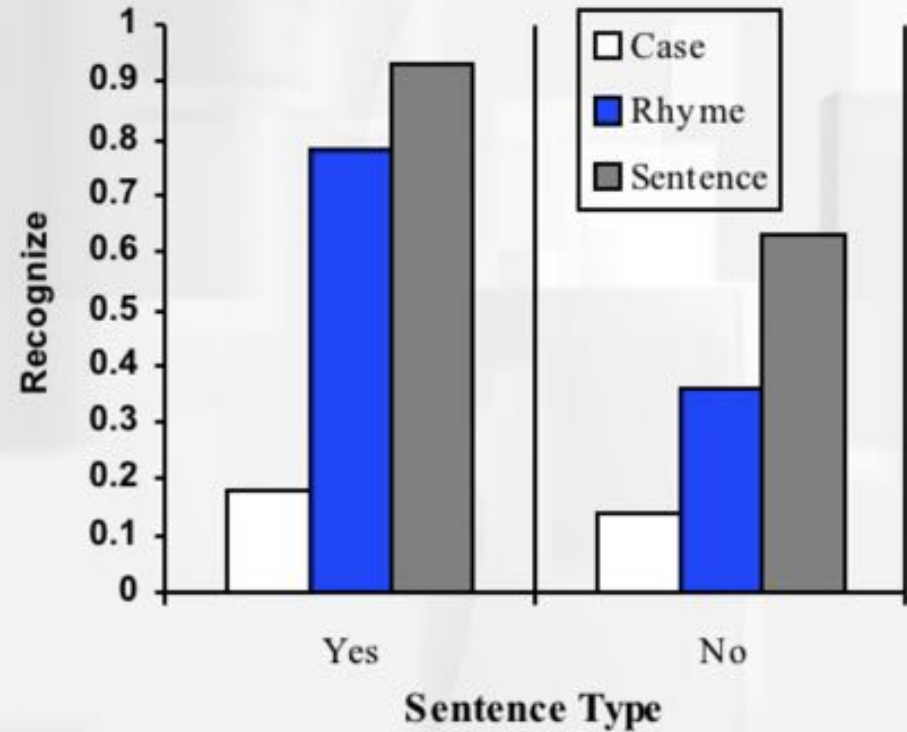
- Rime-t-il avec « chaise »?

(**Traitement phonétique**)

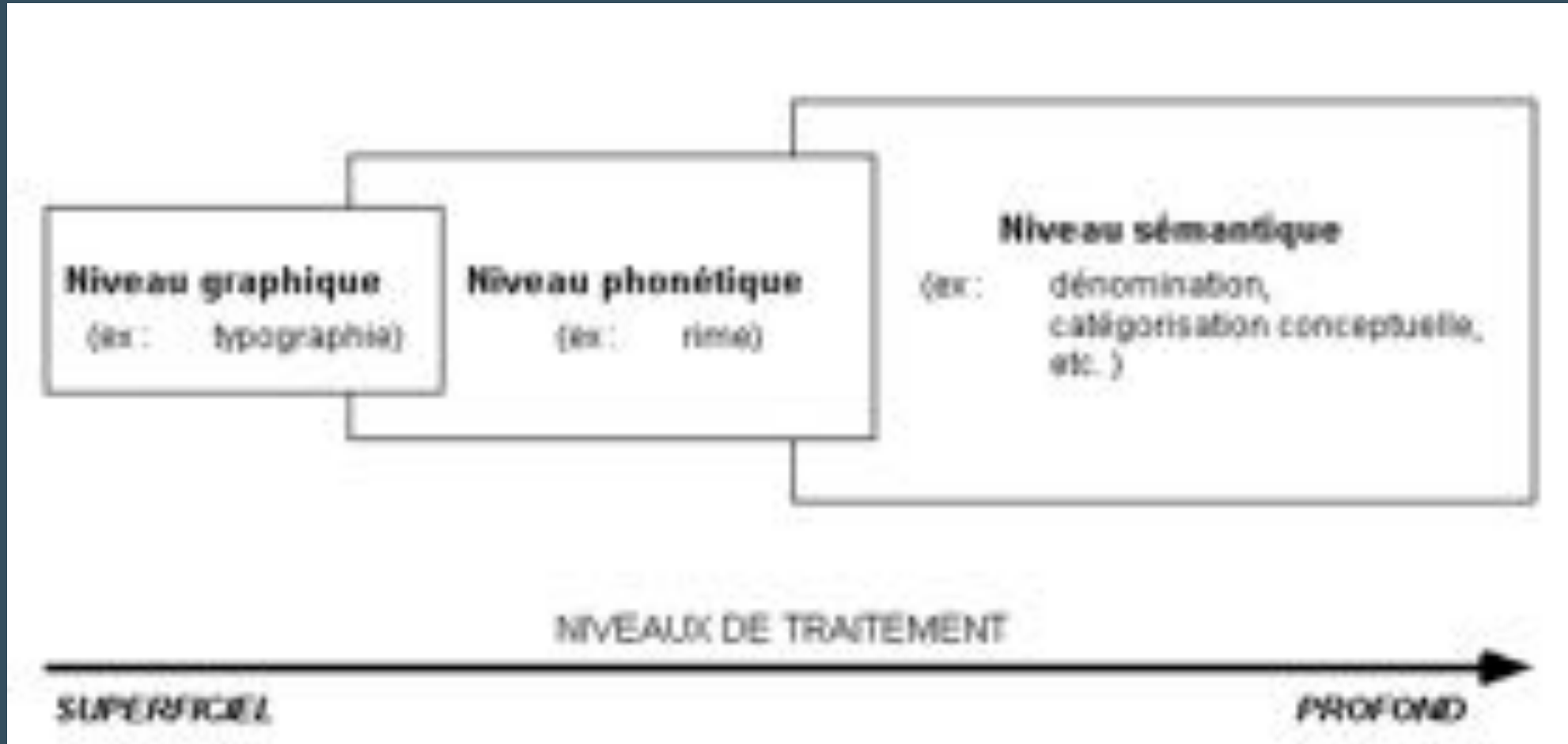
- Est-ce un nom d'animal?

(**Traitement sémantique**)

Craik & Tulving (1975) Results

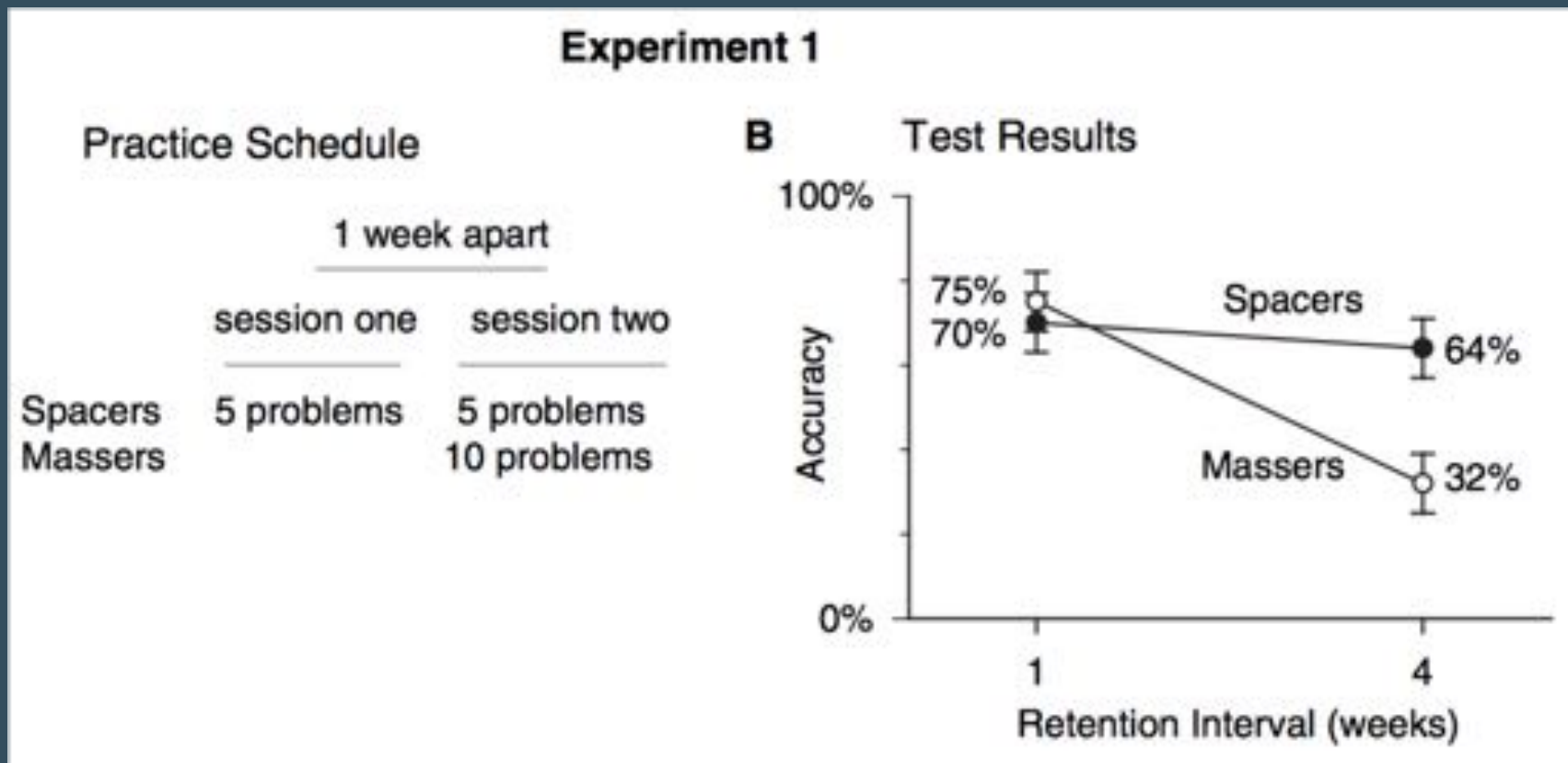


# Les niveaux de traitement

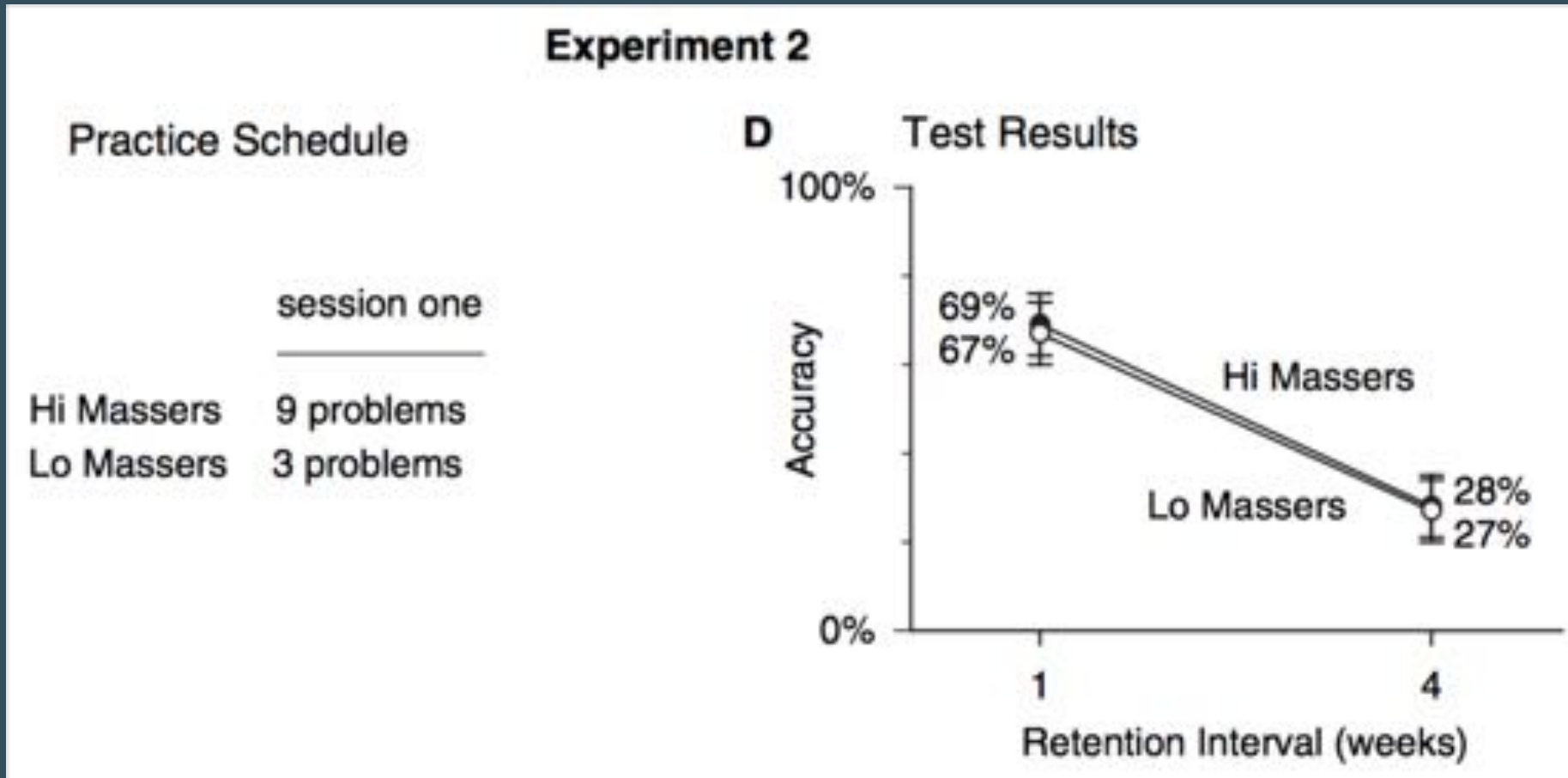


# Apprentissages massés ou distribués

Calculer le nombre de permutations différentes d'une chaîne de lettres avec au moins une lettre répétée (par exemple aabbccc)



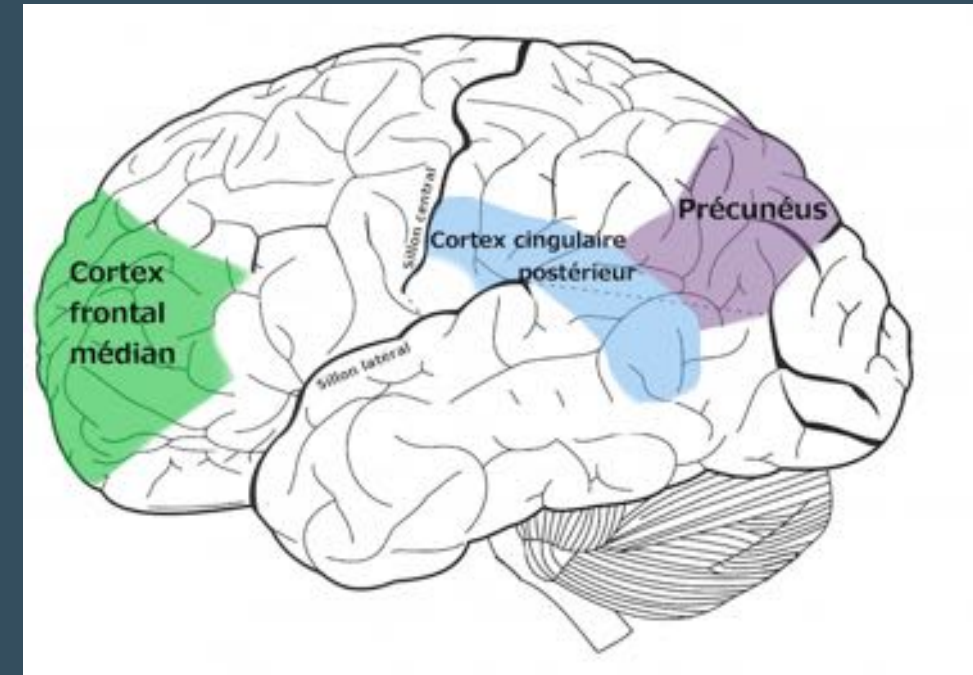
# Apprentissages massés ou distribués



Rohrer, D., & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 20(9), 1209–1224. doi:10.1002/acp.1266

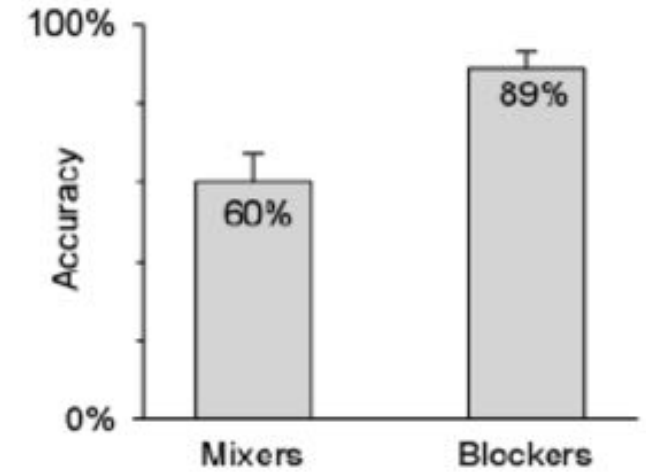
# Apprentissages massés ou distribués

- Seule la présentation distribuée entraîne une augmentation progressive d'activation dans le précuneus (**mémoire épisodique**).
- Inversement, le regroupement augmente l'activation dans le **cortex préfrontal** droit, associé à la mémoire de travail.
- « **Illusion de savoir** » liée à la disponibilité de l'information en mémoire de travail, et non pas dans la mémoire à long terme.

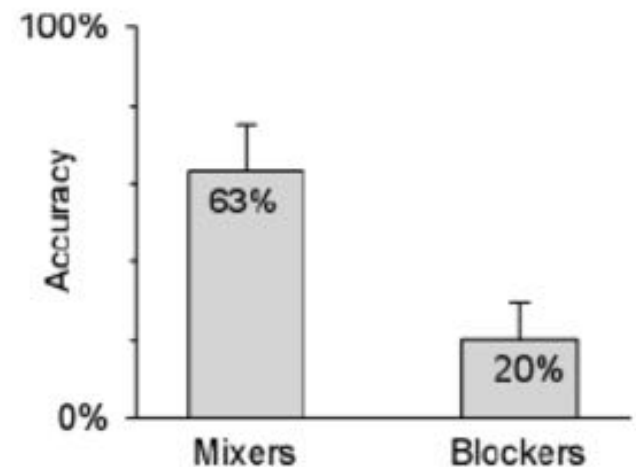


# Conséquences sur l'organisation des manuels

- Chapitre 1 ; exercices du chapitre 1 / Chapitre 2 ; exercices du chapitre 2. etc.
- **Espacement insuffisant** entre l'apprentissage et le test.
- **Absence de méta-apprentissage** : L'élève n'apprend pas à déterminer quelle méthode est la plus appropriée pour un problème donné
- Le mélange des exercices améliore grandement la performance en mathématiques



C Test Performance



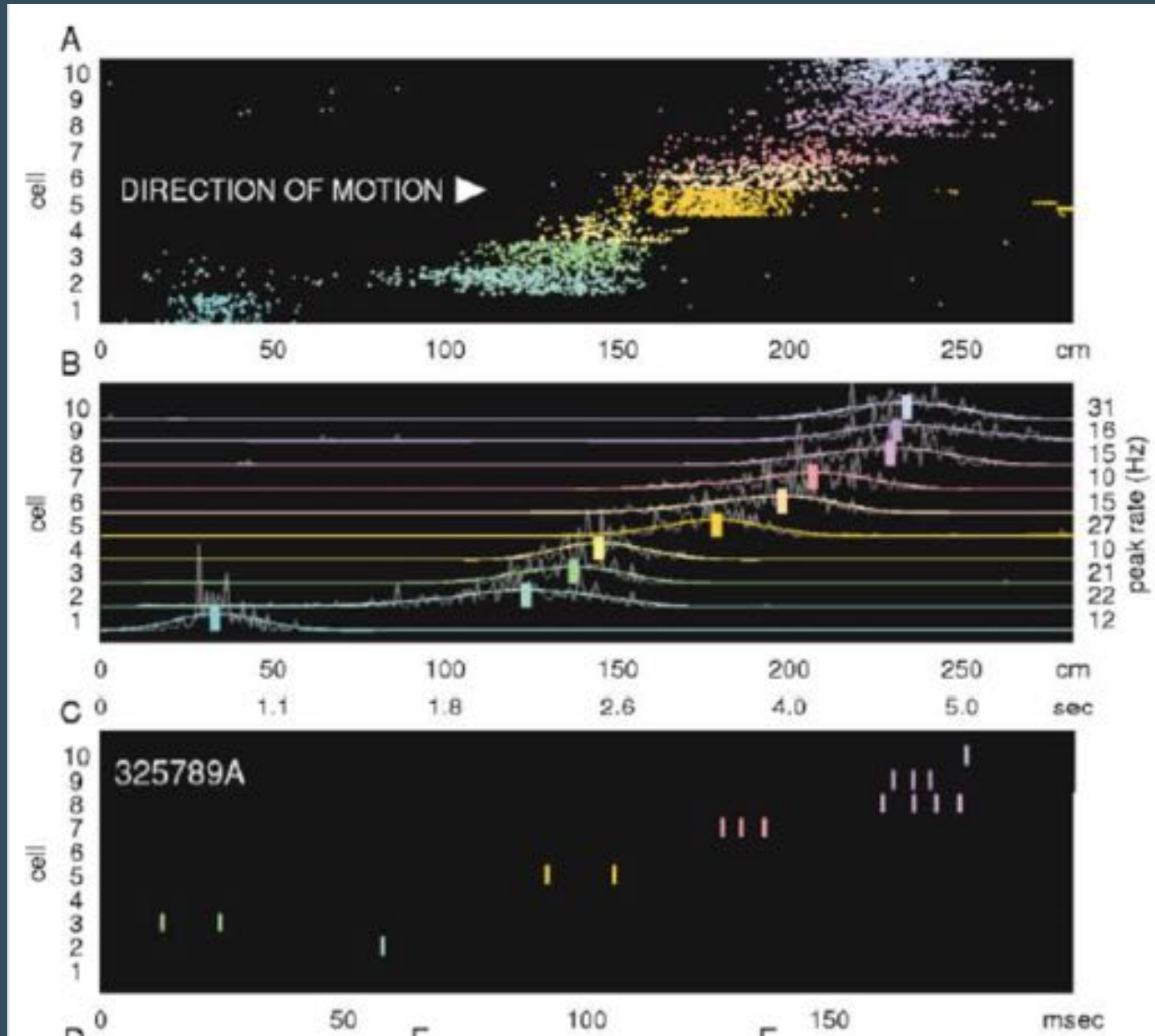
Rohrer, D., & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology, 20*(9), 1209–1224. doi:10.1002/acp.1266

Rohrer, D., & Taylor, K. (2007). The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instructional Science, 35*(6), 481–498.



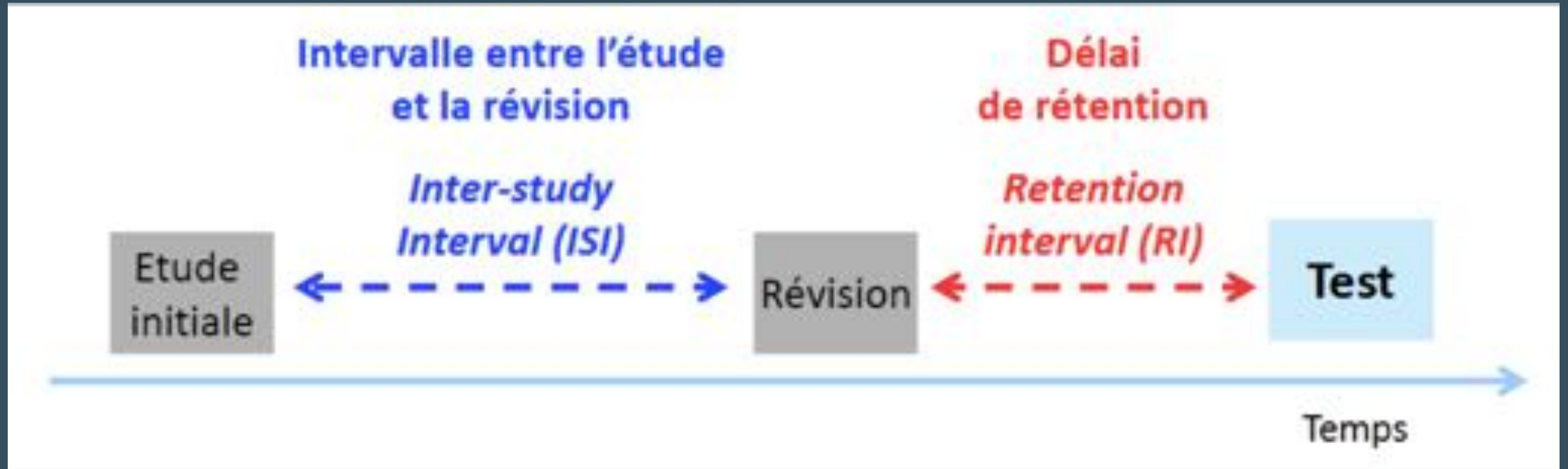
# Le sommeil

- Effet protecteur du sommeil (théorie « passive »)
- Fatigue au moment du test.
- Effet d'interférence des activités durant l'éveil.
- **Effet consolidateur**



Lee, A. K., & Wilson, M. A. (2002). Memory of sequential experience in the hippocampus during slow wave sleep. *Neuron*, 36(6), 1183–1194.

# Quels espacements ?



# Quels espacements ?

- Méthode : tâche d'apprentissage et de rétention de mots
- Apprentissage de vocabulaire en Swahili (Jani = cheval)
- Phase d'apprentissage
- Révision : 1, 2, 4, 7 et 14 jours
- **Test après 10 j**
- Meilleure performance obtenue quand la révision a lieu **le lendemain** (effet du sommeil), puis cela diminue progressivement

# Quels espacements ?

- Phase d'apprentissage
- Révision : 1, 7, 28, 84, 168 jours
- **Test après 6 mois**
- Meilleure performance obtenue quand la révision a lieu après un délai de **28 jours**.
  
- **Le délai optimal n'existe pas !**
- Il augmente avec la durée de rétention en mémoire

# Quels espacements ?

- L'espacement doit être choisi en fonction de la durée de mémorisation visée
- Cepeda, Vul, Rohrer, Wixted et Pashler (2008) : l'intervalle optimal est de l'ordre de **10 à 20%** du délai de rétention souhaité
- La mémoire peut augmenter d'un **facteur 2 ou 3** lorsque l'intervalle de révision est optimisé
- Un délai de révision trop court est bien pire qu'un délai trop long

# Implications éducatives

- Trois facteurs modulent la force de la mémoire et la vitesse de l'oubli :

1. **La profondeur de l'encodage initial** :

- Faire travailler activement les élèves sur le sens de ce qu'ils apprennent

2. L'alternance de périodes d'**apprentissage et de test** :

- Ne pas simplement exposer les élèves à un cours magistral, mais les tester en permanence, leur demander de donner une réponse et corriger leurs erreurs

3. **La distribution** de l'apprentissage en plusieurs fois :

- Espacer les séances d'apprentissage sur plusieurs jours ou semaines, et y revenir plusieurs mois après, ou même l'année suivante.

Dr Catherine GUEGUEN

# Pour une enfance heureuse

Repenser l'éducation à la lumière  
des dernières découvertes  
sur le cerveau

Les neurosciences affectives

POCKET

# Les neurosciences affectives



- Etude des **émotions, des sentiments, des capacités relationnelles**
- Quasiment pas de recherche en France sur le sujet
- Récentes : une 15 d'années



# Les neurosciences affectives

- Le cerveau de l'enfant est beaucoup plus **fragile, malléable** et **immature** que tout ce que l'on pensait
- Les premières années de vie sont déterminantes
- Les relations humaines sont **capitales pour la construction cérébrale** :
  - *développement des neurones*
  - *myélinisation*
  - *sécrétion des molécules cérébrales*
  - *connexions synaptiques*
  - *axe qui gère le stress*

# LE CIRCUIT DES ÉMOTIONS

-  Système limbique
-  Système de régulation

**1 Organes sensoriels**  
En cas de stimulus, ces organes (yeux, oreilles, etc.) transmettent les informations au cerveau sous forme d'impulsions électriques.

**2 Thalamus**  
Centre de tri, il dirige les stimuli vers les zones cérébrales appropriées, comme l'amygdale.

**3 Amygdale**  
Elle détecte les émotions comme la haine, mais surtout la menace. Dans ce cas, elle se connecte au cortex et active l'hypothalamus pour une réponse corporelle immédiate.

**4 Hypothalamus**  
Activée par l'amygdale, cette minuscule structure cérébrale déclenche les changements hormonaux qui préparent les réponses motrices en cas de menace (accélération du rythme cardiaque, contractions musculaires, etc.).

**5 Tronc cérébral**  
Les stimuli positifs passent par cette région, qui déclenche la libération d'un neurotransmetteur, la dopamine, responsable de la sensation de plaisir.

**6 Cortex cingulaire antérieur**  
Alerté par le thalamus, il dirige l'attention et active le cortex orbitofrontal. Situé près du système limbique, il joue un rôle prépondérant dans l'empathie.

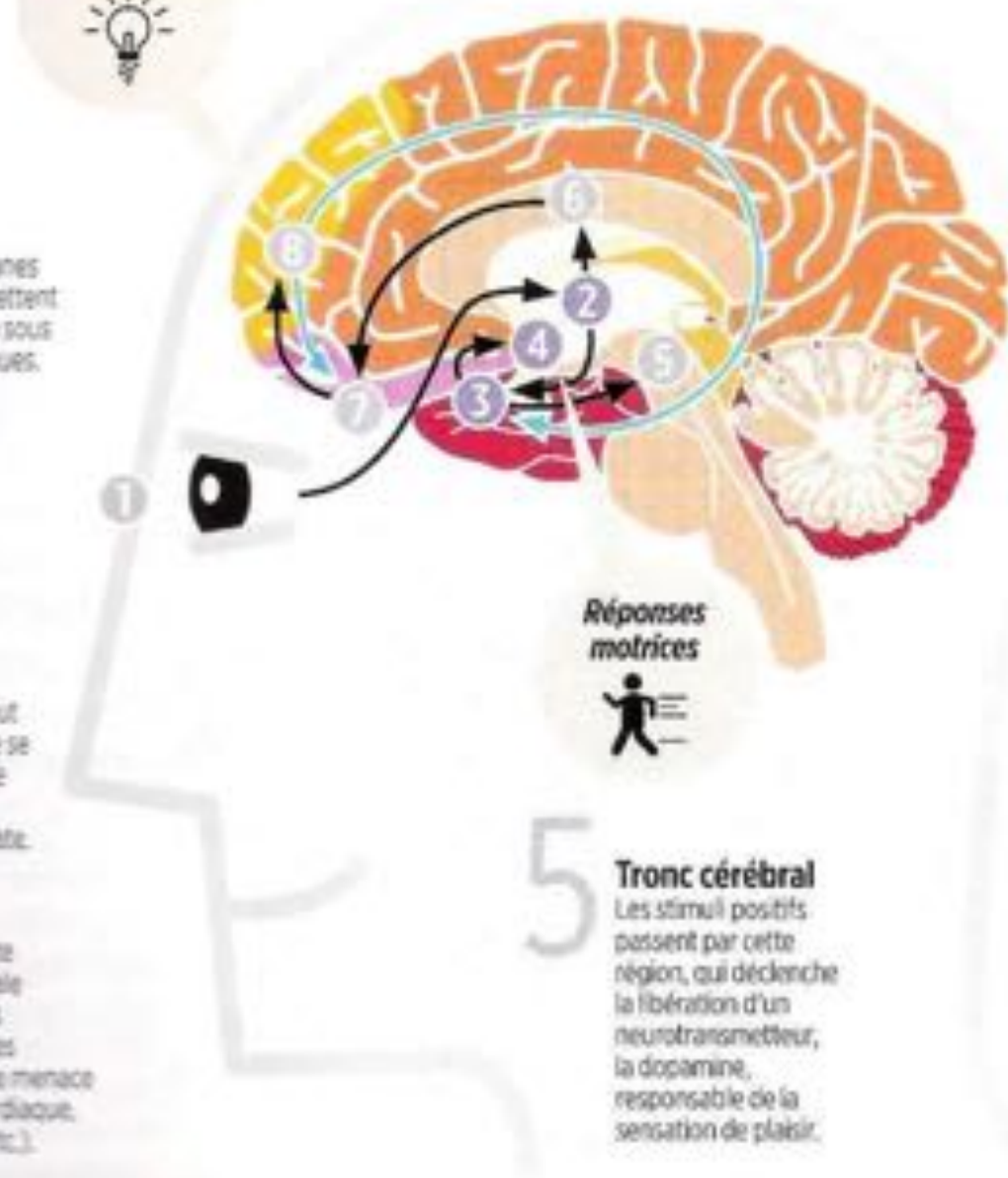
**7 Cortex orbitofrontal**  
Il stimule les aires émotionnelles et informe le cortex préfrontal. Il exerce également un rôle dans la prise de décision, le jugement et l'ajustement du comportement à un contexte donné.

**8 Cortex préfrontal**  
Il analyse la situation et produit une pensée consciente. Il agit en retour sur le cortex orbitofrontal et l'amygdale pour réguler l'émotion en fonction du contexte. En 500 millisecondes, une première impression se forme, « j'aime/je n'aime pas ».

Pensée consciente



Réponses motrices



# Chez les adultes

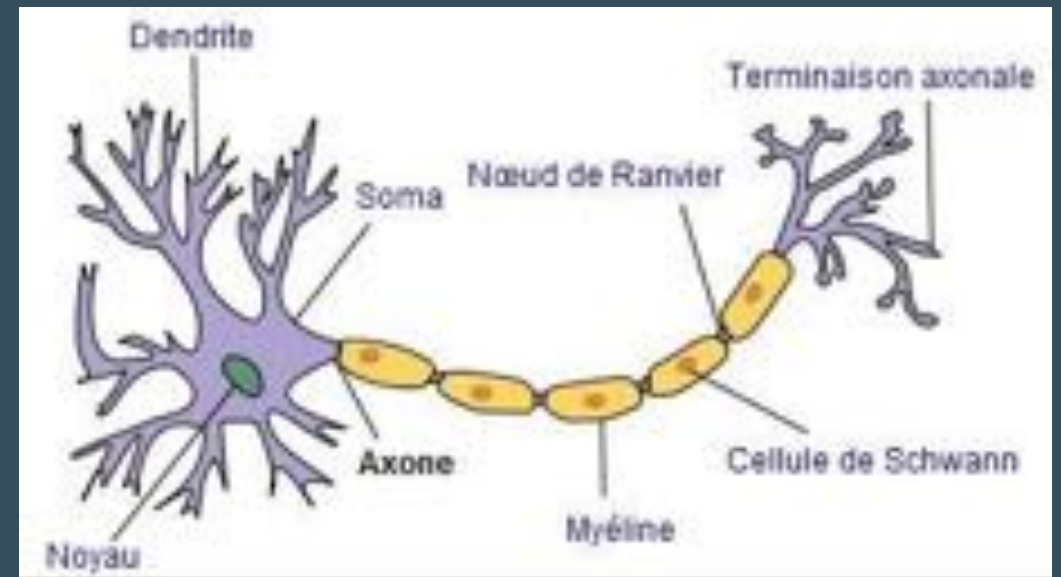
- Les neurones du cortex préfrontal, où s'établit une bonne part du **contrôle rationnel** des émotions, ne parvient à maturité qu'au début de l'âge adulte.
- **Cortex préfrontal** : gestion des émotions, prise de recul
- Emil Cocccaro (2011) : les adultes violents ont un cortex préfrontal hypoactif
- Ultime étape (COF), mature à **25/30 ans**

# Chez l'enfant

- Développement important durant les 5 premières années
- L'enfant **ne peut pas contrôler ses émotions** (structures cérébrales non matures)
- **Orages émotionnels**
- Il ne peut pas s'apaiser seul
- A partir de **5 ans** (si bon environnement) l'enfant commence à identifier les causes de ses émotions
- **L'expression verbale** des émotions est source de bien-être (à l'inverse la répression des émotions est source de stress)

# Stress

- Si l'enfant n'est pas apaisé : sécrétion de **molécules de stress** (cortisol)
- Amygdale est mature dès la naissance (sécrétion cortisol)
- Extrêmement **néfaste** pour le cerveau (Bruce McEwen, 2007, 2008 2011)
- Fragilise l'hippocampe (↘ **mémoire**)
- Le cortisol :
  - *freine la multiplication des neurones*
  - *altère la gaine de myéline*
  - *destruction des neurones*



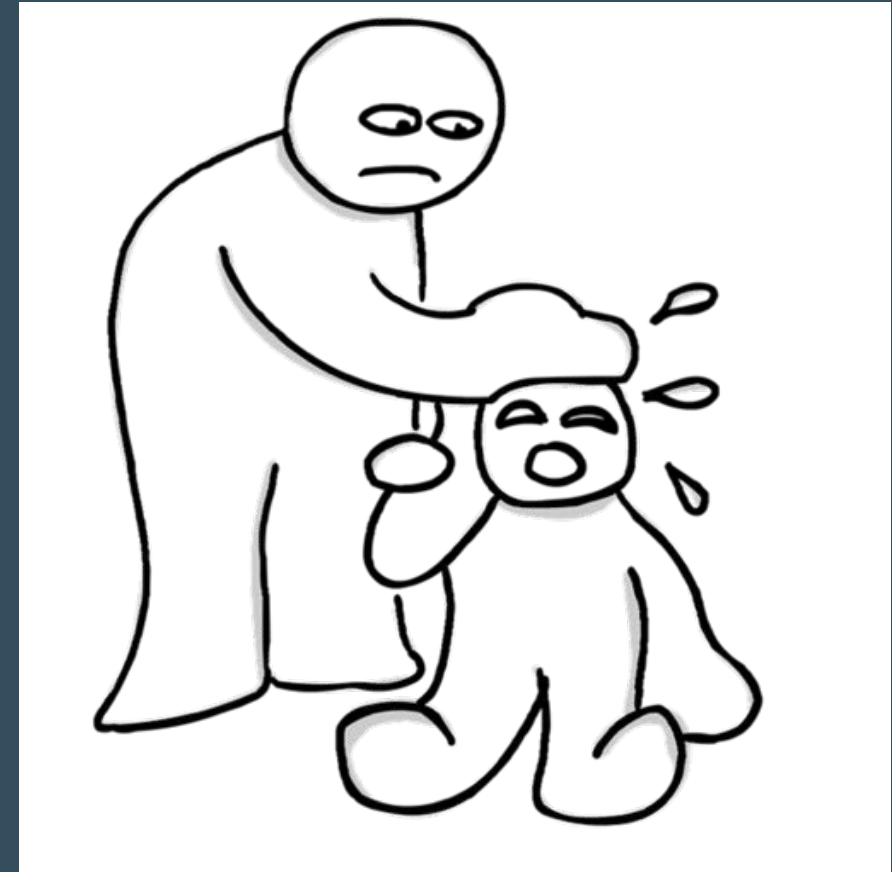
McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation : Central role of brain. *Physiological Reviews*, 87, 873-904.

McEwen, B. S. (2008). Central effects of stress hormones in health and disease : Undergoing the protective and damaging effects of stress mediators. *European Journal of Pharmacology*, 583, 174-185.

McEwen, B. S. (2011). Introduction to social neuroscience : Gene, environment, brain, body. *Annals of the New York Academy of Sciences*, August, 1231(1), VII-IX.

# L'environnement

- C'est l'environnement qui **permet la maturation**
- Entourage **empathique**, aide à exprimer ses émotions, apaisant
- Rassurer, sécuriser, consoler, permet de développer des connexions essentielles qui lui permettront d'apaiser ses sentiments
- **Il ne s'agit pas de céder** mais d'apaiser, de mettre des mots
- Une attitude soutenante permet une croissance de l'hippocampe
- Assister à la résolution apaisée de conflits aide à la maturation du cerveau (**neurones miroirs**)



# La résilience

- Possibilité de mener **une vie « normale »** et heureuse malgré des expériences traumatisantes (Werner, Smith, 1980 – 643 enfants)
- On ne peut pas préjuger de l'avenir de ces enfants
- Nombreux facteurs : génétique, personnalité, rencontres, ...
- Le facteur le plus important de résilience est **la rencontre de personnes bienveillantes**, soutenantes, aimantes, ...
- Les **« tuteurs de résilience »**



Werner, E. E., & Smith, R. S. (1982). *Vulnerable but Invincible: A Longitudinal Study of Resilient Children and Youth*. New York, McGraw Hill.

Emmy Werner & Ruth Smith, *Overcoming the Odds. High Risk Children from Birth to Adulthood*, Cornell University Press, Ithaca - London, 1992.

Merci de votre attention