

Cours 2014:

Fondements cognitifs des apprentissages scolaires

Stanislas Dehaene

Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°3

L'engagement actif, la curiosité, et la correction des erreurs

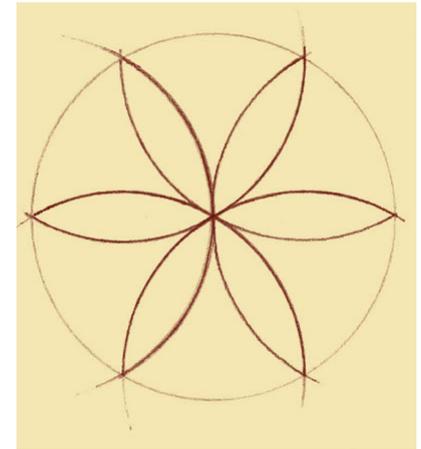
Quatre piliers de l'apprentissage

Les neurosciences cognitives ont identifié au moins quatre facteurs qui déterminent la vitesse et la facilité d'apprentissage:

- **L'attention**
- **L'engagement actif**
 - Maximiser la curiosité et la prédiction active
- **Le retour d'information**
 - Signaux d'erreurs
 - Récompense et motivation
- **La consolidation**
 - Automatisation: transfert du conscient au non-conscient, et libération de ressources.
 - Sommeil

Une erreur de jeunesse d'Alexandre Grothendieck

« Vers l'âge de onze ou douze ans, alors que j'étais interné au camp de concentration de Rieucros (près de Mende), j'ai découvert les jeux de tracés au compas, enchanté notamment par les rosaces à six branches qu'on obtient en partageant la circonférence en six parties égales à l'aide de l'ouverture du compas reportée sur la circonférence à six reprises, ce qui fait retomber pile sur le point de départ.



Cette constatation expérimentale m'avait convaincu que la longueur de la circonférence était exactement égale à **six** fois celle du rayon.

Quand par la suite [...], j'ai vu dans un livre de classe que la relation était censée être bien plus compliquée, que l'on avait $L = 2 \pi R$ avec $\pi = 3.14\dots$, j'étais persuadé que le livre se trompait, que les auteurs du livre [...] n'avaient jamais dû faire ce tracé très simple, qui montrait à l'évidence que l'on avait tout simplement $\pi = 3$.

Cette confiance qu'un enfant peut avoir en ses propres lumières, en se fiant à ses facultés plutôt que de prendre pour argent comptant les choses apprises à l'école ou lues dans les livres, est une chose précieuse. Elle est constamment découragée pourtant par l'entourage.

Beaucoup verront dans l'expérience que je rapporte ici l'exemple d'une présomption infantine, qui a dû s'incliner devant le savoir reçu - les faits faisant enfin éclater un certain ridicule. Tel que j'ai vécu cet épisode, il n'y avait pourtant **nullement le sentiment d'une déconvenue, d'un ridicule**, mais bien celle d'une nouvelle **découverte** (...) : celle d'une **erreur**. »

Prédiction et retour d'erreur

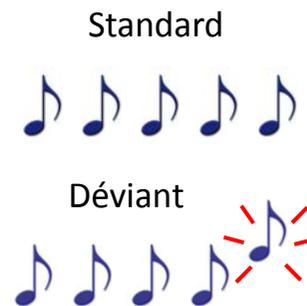
Rappel du cours 2013 : le cerveau apprend lorsqu'il fait des erreurs

De nombreux modèles de l'apprentissage, notamment bayésiens, 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.

Exemple :

La « mismatch response »

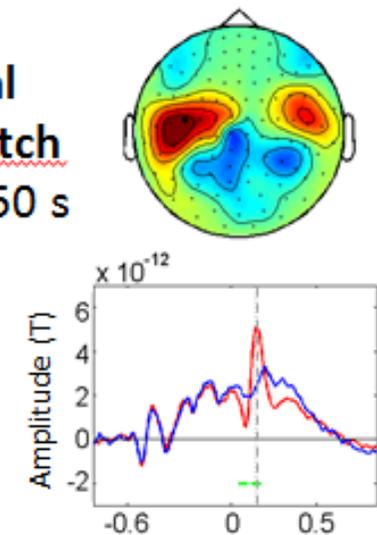


Ce modèle suggère que

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.

Local mismatch
 $t = 0.150 \text{ s}$



Pilier 2. L'engagement actif

Un organisme passif n'apprend pas.

Expérience classique de Held & Hein (1963)

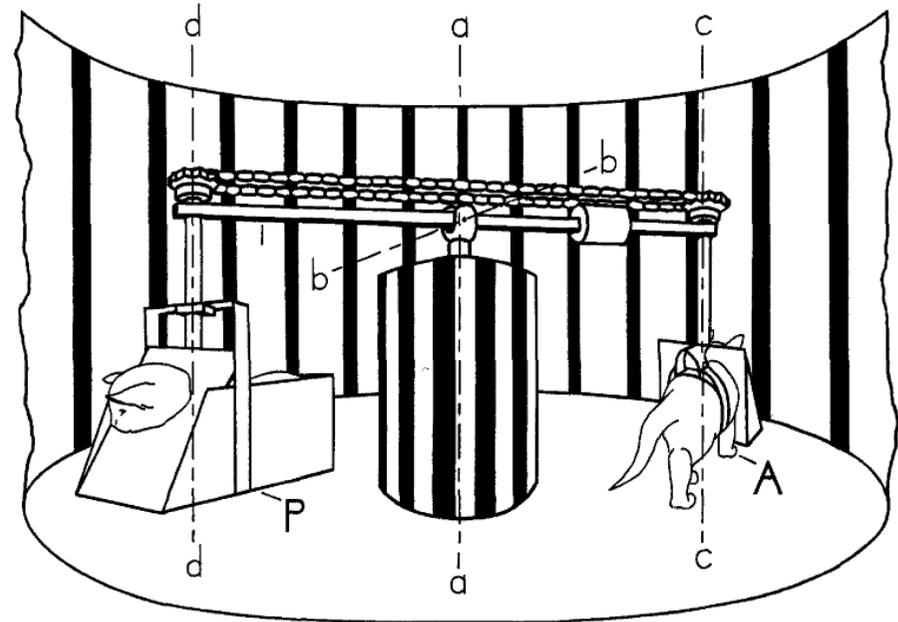
L'apprentissage est optimal lorsque l'enfant alterne apprentissage et **test répété de ses connaissances.**

Expériences de Henry Roediger et al.
(*Science*, 2008)

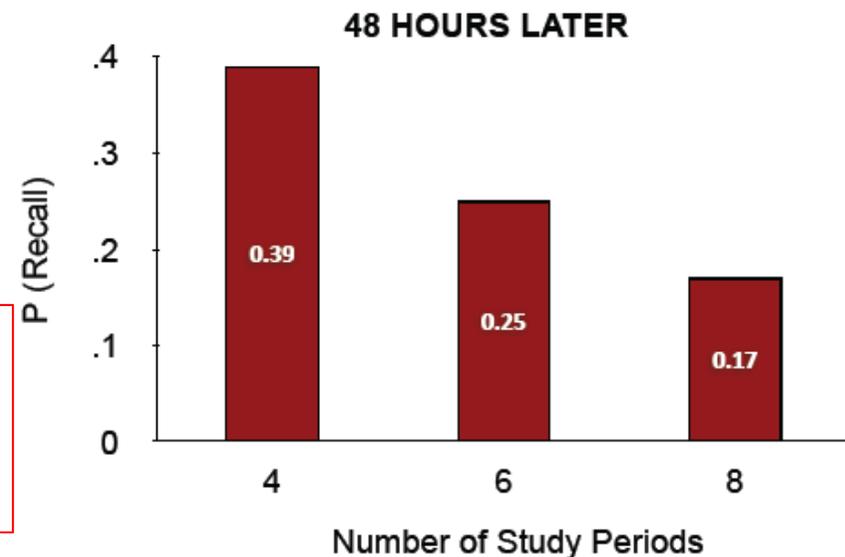
Vaut-il mieux étudier
ou se tester?

ST ST ST ST	4 study, 4 test
ST SS ST SS	6 study, 2 test
SS SS SS SS	8 study, 0 test

“Rendre les conditions d'apprentissage plus difficiles, ce qui oblige les étudiants à un surcroît d'engagement et d'effort cognitif, conduit souvent à une meilleure rétention.” (Zaromb, Karpicke et Roediger, 2010)



48 h plus tard, c'est le nombre de tests qui compte, pas le temps d'étude.



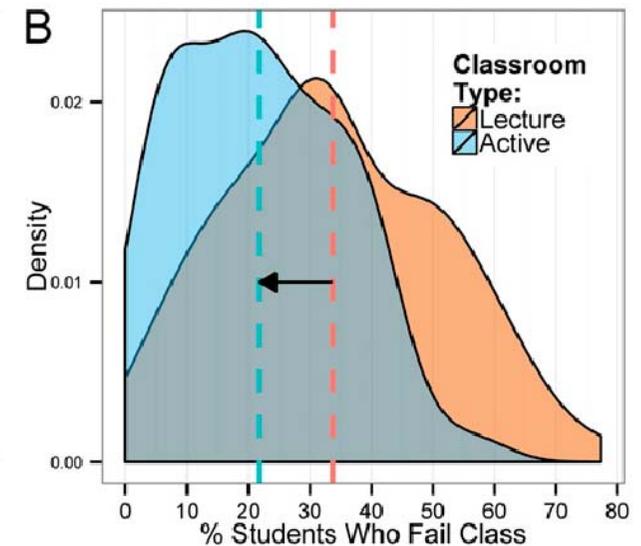
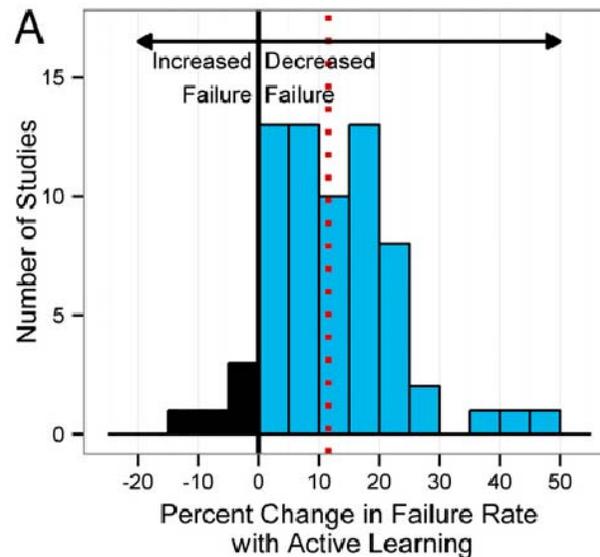
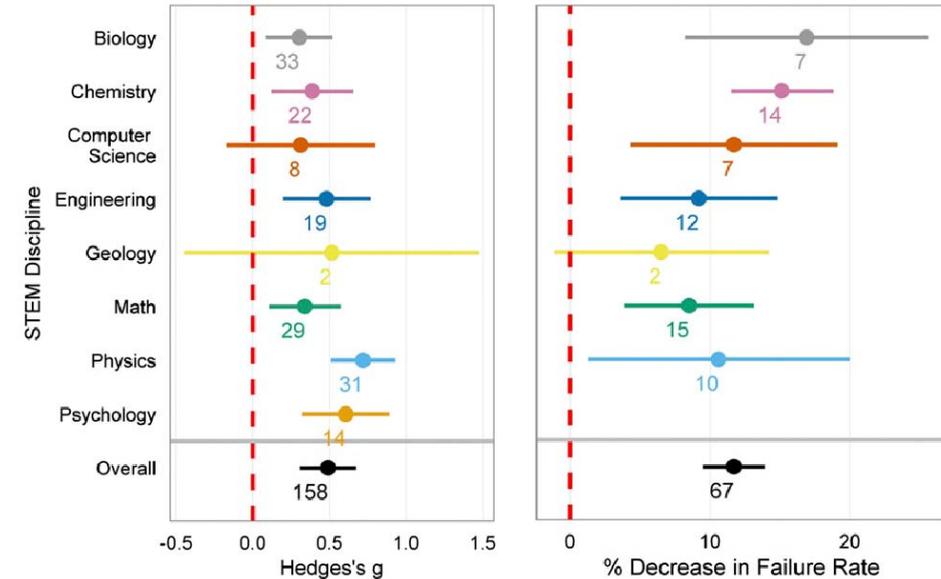
Un étudiant actif apprend mieux

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *PNAS*, 111(23), 8410–8415.

Meta-analyse de 225 études comparant le cours magistral traditionnel (*traditional lecturing*) aux pédagogies actives (*active learning*).

Amélioration d'un demi-écart type, aussi bien dans les scores aux examens ou aux tests que dans le taux d'échec.

“Active learning engages students in the process of learning through activities and/or discussion in class, as opposed to passively listening to an expert. It emphasizes higher-order thinking and often involves group work.”



Laisser l'enfant tout découvrir? L'un des nombreux mythes éducatifs

- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *The American Psychologist*, 59(1), 14–19.
- Paul A. Kirschner & Jeroen J.G. van Merriënboer (2013) Do Learners Really Know Best? Urban Legends in Education, *Educational Psychologist*, 48:3, 169-183
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning Styles Concepts and Evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(3), 105–119.

L'idée que l'enfant doit être un acteur de son apprentissage ne doit pas être confondue avec celle de « pédagogie de la découverte ».

Mayer (2004) recense une série d'études, étagées sur plusieurs décennies, qui démontrent que, laissés à eux-mêmes, les enfants éprouvent de grandes difficultés à découvrir les règles qui gouvernent un domaine et apprennent beaucoup moins bien.

Exemples: lecture; mathématiques (1+3+5+7...); programmation informatique; etc.

Dans ces domaines, le mieux est une « pédagogie active guidée par l'enseignant ».

La pure pédagogie de la découverte (l'enfant « auto-éducateur ») fait partie des mythes éducatifs dénoncés par Kirschner et van Merriënboer (2013). Autres mythes:

- « Les enfants de la nouvelle génération sont des champions du monde digital (*digital natives, homo Zappiens*) » : Faux! Leur connaissance de la technologie est souvent superficielle, seuls les plus éduqués savent critiquer les sources d'information sur internet, et ils ne sont en aucun cas meilleurs dans les tâches multiples.
- « Chacun possède son propre style d'apprentissage. » Faux! Il n'existe pratiquement aucune recherche qui démontre l'interaction requise (Pashler et al, 2008).

L'apprentissage par la différence entre prédiction et résultat

- Rescorla and Wagner (1972): "Organisms only learn when events violate their expectations"

Exemple: un stimulus conditionnel A+X est suivi d'un stimulus inconditionnel de force λ .

La règle stipule $\Delta V_A = \alpha_A \beta (\lambda - V_{tot})$: le changement dépend de la force de A (α_A) et de la capacité des deux stimuli A et X à prédire λ ($V_{tot} = V_A + V_X$)

Equivalent à la règle d'apprentissage de Widrow-Hoff
ou « delta-rule » utilisée dans les réseaux neuronaux.

- Wolfram Schultz (1997, 2001): Capacité d'anticipation du moment de la récompense

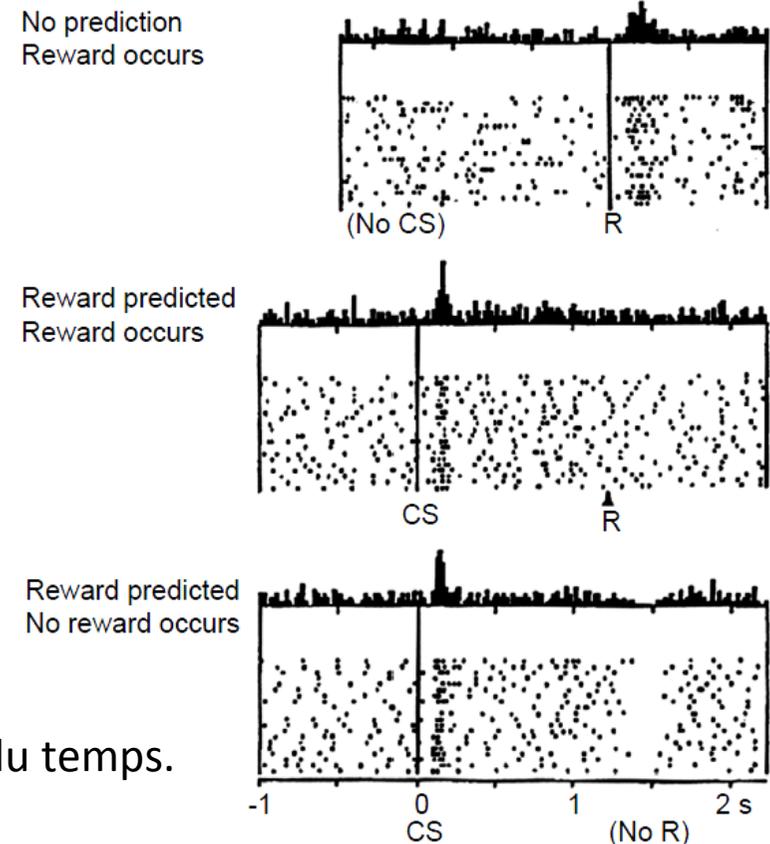
Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997).

A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275, 1593–1599.

Les neurones dopaminergiques de l'aire tegmentale ventrale (VTA) semblent coder la différence entre la récompense obtenue et la récompense attendue.

Leur réponse correspond au signal de « différence temporelle » de l'algorithme d'apprentissage TD, qui permet d'ajuster une stratégie d'action en fonction du temps.

Do dopamine neurons report an error in the prediction of reward?



Pas d'apprentissage sans surprise

Waelti, P., Dickinson, A., & Schultz, W. (2001). Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature*, 412(6842), 43–48.

Prédiction clé: l'apprentissage est 'bloqué' (*blocking*) lorsqu'un stimulus est apparié à un renforcement déjà prévisible.

Phase 1 de l'expérience:

- un stimulus visuel (A) prédit le renforcement (goutte de jus de fruit; essai noté A+)
- un autre (B) prédit l'absence de renforcement (essai noté B-)

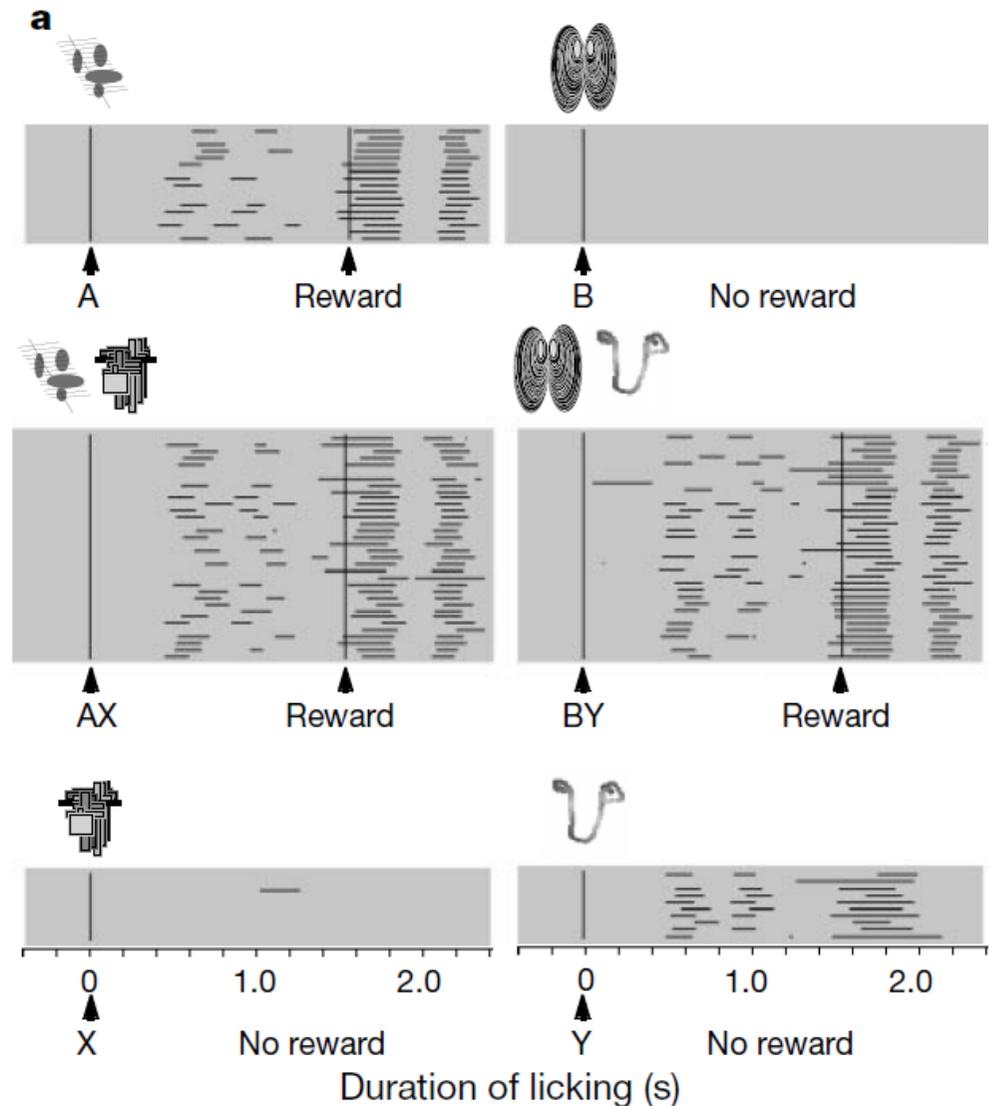
L'apprentissage est mesuré par le taux d'anticipation de la récompense.

Phase 2: On introduit deux nouveaux stimuli X et Y (essais AX+ et BY+).

Phase 3: On présente les stimuli X et Y seuls.

Résultat:

Stimulus X: aucune anticipation (« blocking »); stimulus Y: anticipation



Pas d'apprentissage sans surprise

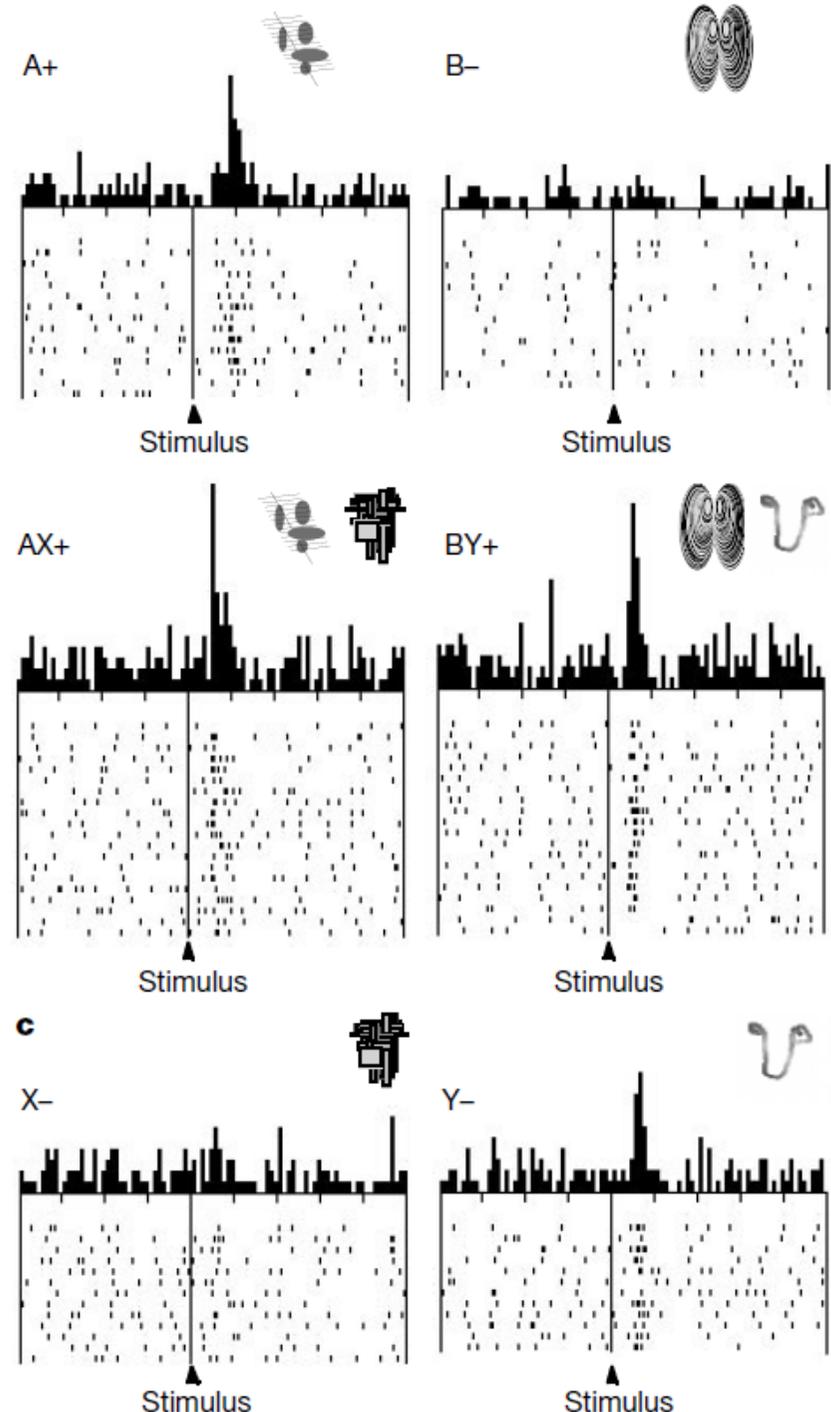
Waelti, P., Dickinson, A., & Schultz, W. (2001). Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature*, 412(6842), 43–48.

Enregistrements neuronaux dans l'aire tegmentale ventrale (VTA)

Au moment de la présentation du **stimulus**, c'est-à-dire bien avant la récompense:

- Les neurones dopaminergiques de la VTA anticipent la récompense: ils déchargent pour A, AX, BY, et pour Y seul.
- Crucialement, ils ne répondent pas lorsque X est présenté (« blocking »)

Il existe donc un parallèle parfait entre le comportement et la décharge des neurones dopaminergiques.



Pas d'apprentissage sans surprise

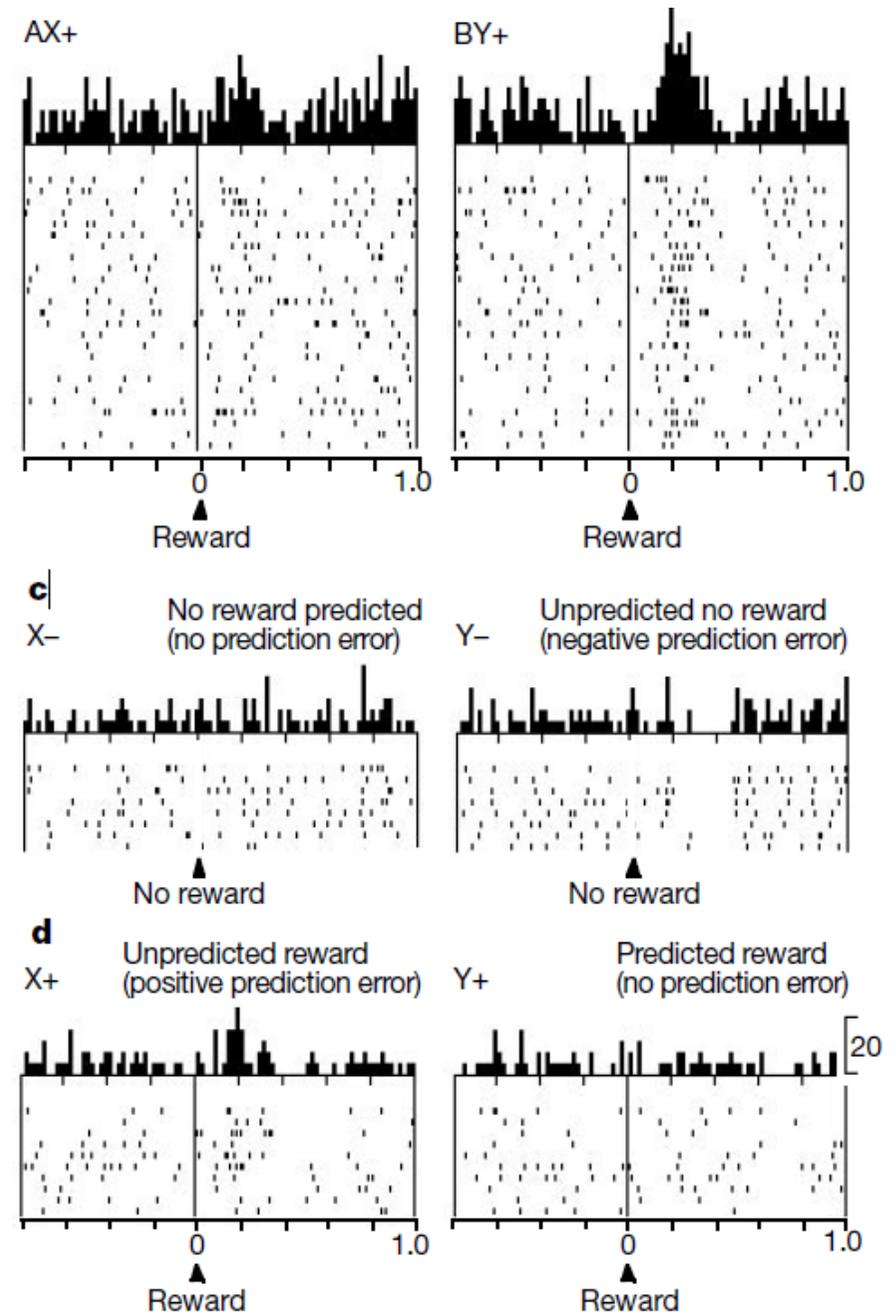
Waelti, P., Dickinson, A., & Schultz, W. (2001). Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature*, 412(6842), 43–48.

Au moment de la présentation de la **récompense**:

- Les neurones dopaminergiques de la VTA codent pour la récompense, mais seulement lorsqu'elle est inattendue.
- En particulier, pas de réponse neuronale lors des essais AX+. Cette absence de récompense effective peut expliquer pourquoi il n'existe aucun apprentissage de l'association $X \rightarrow$ récompense dans cette condition.

En résumé:

- L'apprentissage **ne fonctionne pas** par **association** entre un stimulus et un autre, mais par **anticipation et signal d'erreur**
- Cette règle s'applique probablement à de très nombreux circuits sensoriels et cognitifs.



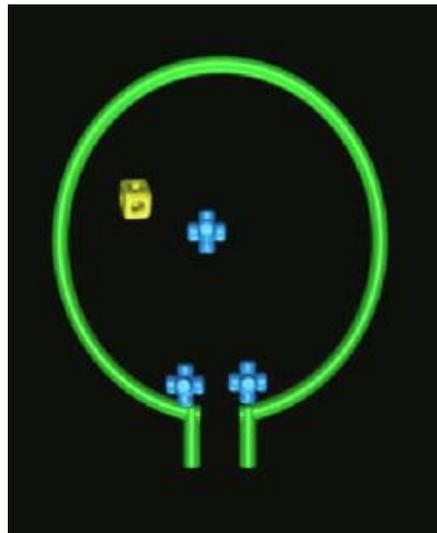
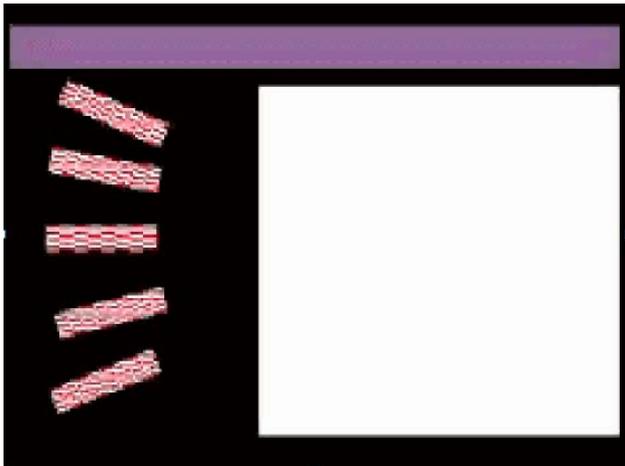
Chez le bébé aussi, la surprise détermine l'apprentissage

Stahl, A. E., & Feigenson, L. (n.d.). Prior Knowledge Guides and Enhances Infants' Learning. *Submitted*.

Lisa Feigenson s'appuie sur de nombreuses expériences qui montrent que l'enfant regarde plus longtemps les événements impossibles ou improbables.

Elle postule que la violation des attentes de l'enfant (surprise) indique une opportunité nouvelle d'apprentissage.

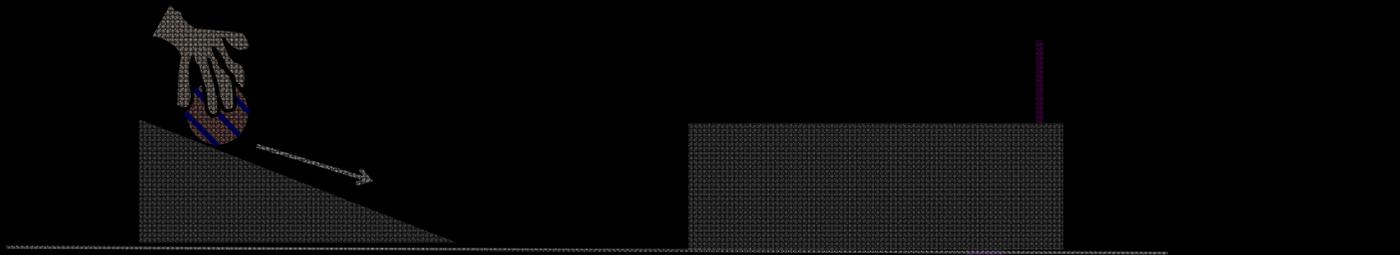
Hypothèse: l'enfant apprend mieux après un événement impossible qu'après un événement possible.



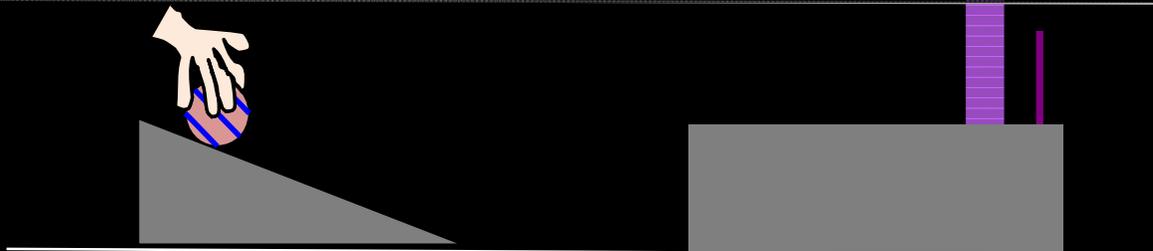
Familiarisation



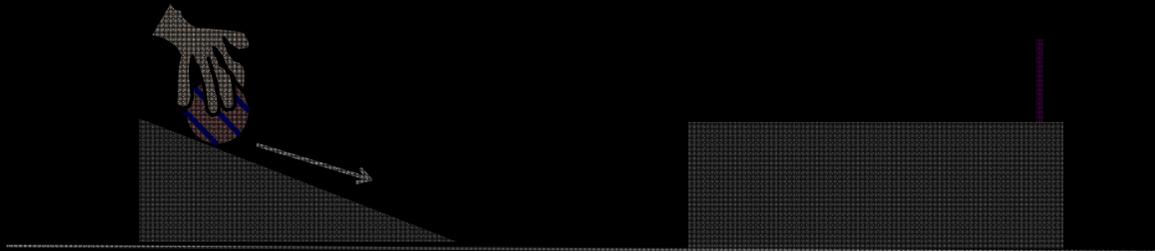
Familiarization



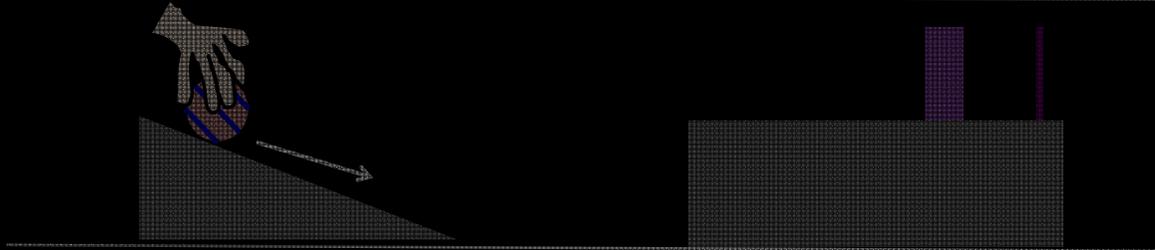
Contrainte de solidité



Familiarization



Solidity Event



Violation

Résultat attendu

OU



Enseignement



Test

Durée du regard vers la cible

Durée totale du regard



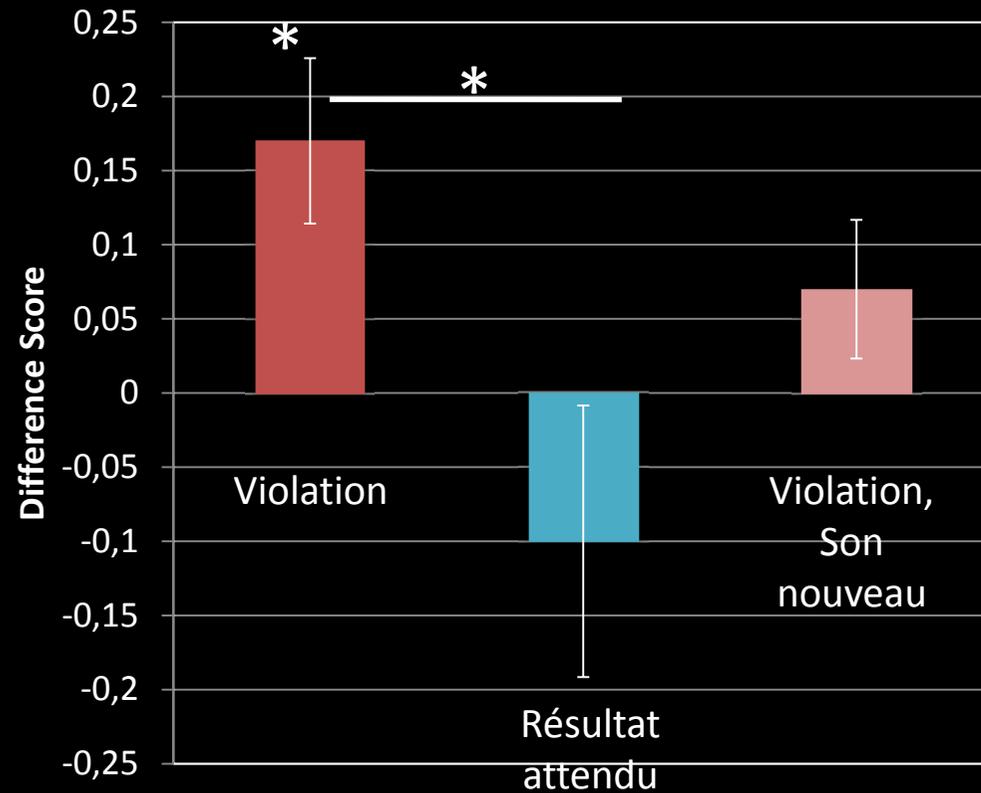
Ligne de base

Durée du regard vers la cible

Durée totale du regard

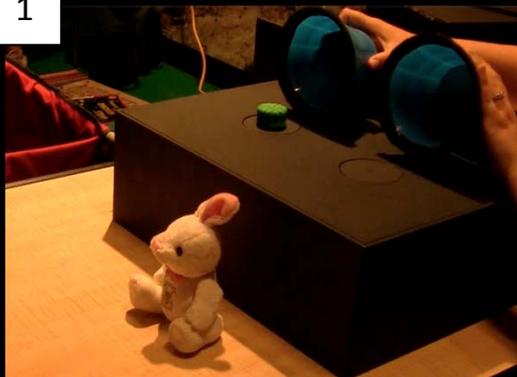


Un score positif
(Test > Ligne de base)
Indique que
l'apprentissage a été
effectif.



Expérience 4: La détection d'une violation facilite-t-elle l'apprentissage d'un mot?

1



Violation



2

Résultat attendu



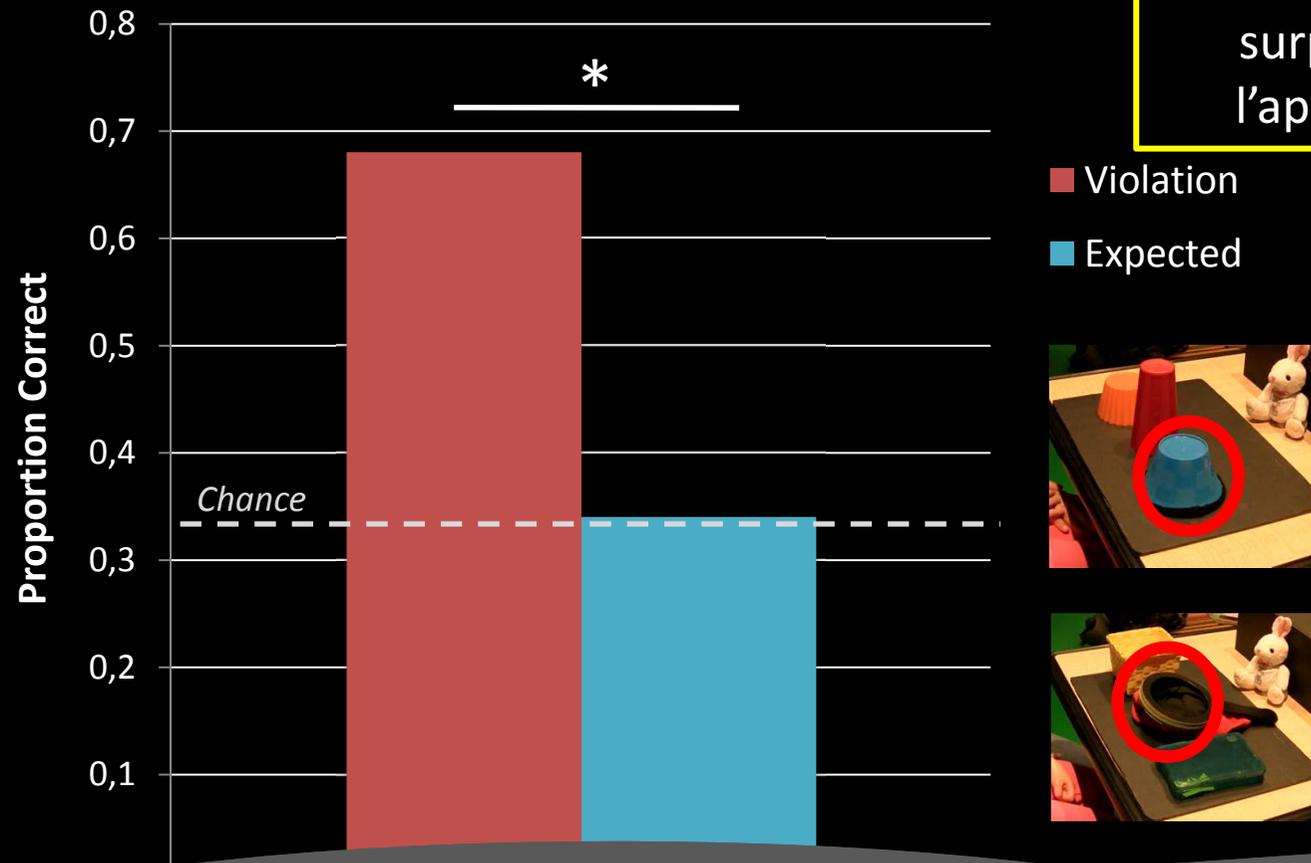
3



"Elles ont *bliqué* le jouet"

Expérience 4: La détection d'une violation facilite-t-elle l'apprentissage d'un mot?

Conclusion: toute
surprise facilite
l'apprentissage.



“Si je voulais encore *bliquer/moxer* le jouet,
qu'est-ce que je devrais utiliser?”

Qu'est-ce que la curiosité ?

Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological Bulletin*, 116(1), 75–98.
Kaplan, F., & Oudeyer, P.-Y. (2007). In search of the neural circuits of intrinsic motivation. *Frontiers in Neuroscience*, 1(1), 225.

L'enfant n'attend pas seulement la nouveauté de façon passive, mais il la recherche activement: c'est ce qu'on appelle la **curiosité**.

De nombreux psychologues, notamment Hunt (1965) et Berlyne (1960) suggèrent l'existence d'une **motivation intrinsèque à l'exploration**.

Pour Loewenstein (1994), la curiosité serait l'identification d'un **décalage entre ce que l'on connaît et que l'on aimerait connaître**, décalage que l'on tente de réduire.

Kaplan et Oudeyer (2007) postulent qu'un organisme agit avec curiosité s'il recherche les situations dans lesquelles **l'apprentissage est maximal**:

« Les animaux et les humains agissent afin d'optimiser le progrès de l'apprentissage ».

Une équation précise est proposée:

Dans chaque « niche de progrès », le système évalue l'erreur de prédiction instantanée $e(t)$ et calcule la diminution récente de l'erreur de prédiction: $\langle e(t-\tau) \rangle - \langle e(t) \rangle$

Un superviseur examine les différentes niches et choisit celle où la diminution est la plus importante.

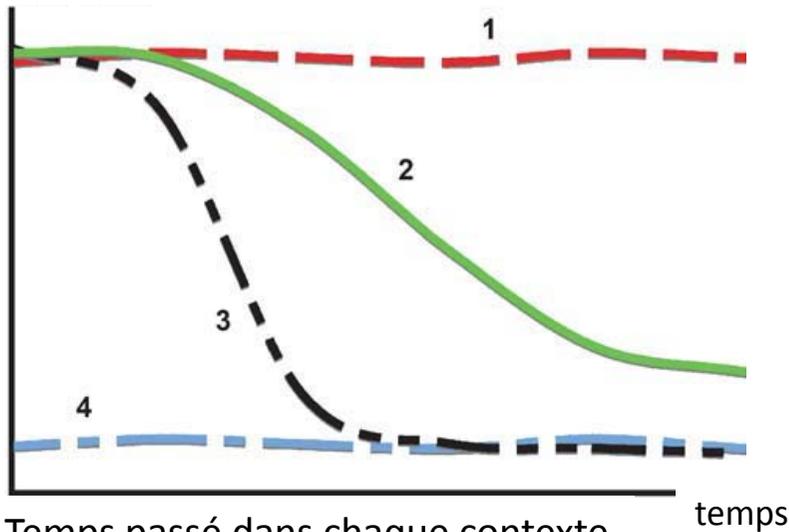
Conséquence: le système explore successivement les différentes niches, dans un ordre systématique, en abandonnant dès que l'ennui s'installe (absence de progrès).

Une simulation de la curiosité

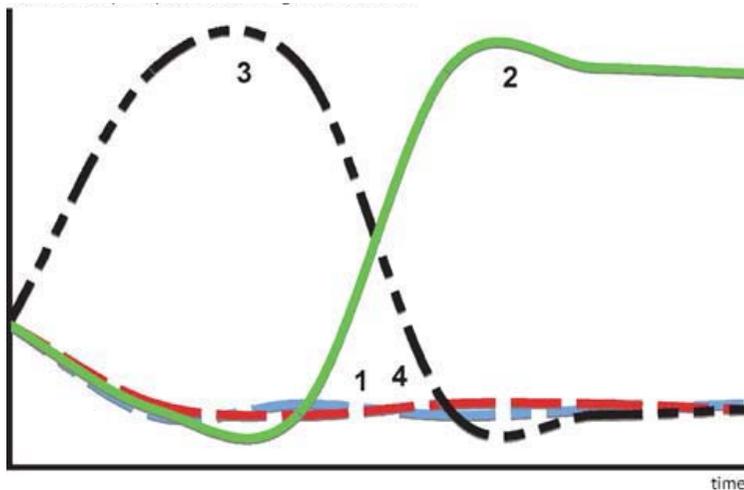
Kaplan, F., & Oudeyer, P.-Y. (2007). In search of the neural circuits of intrinsic motivation. *Frontiers in Neuroscience*, 1(1), 225.

Séquence reproductibles de « stades »

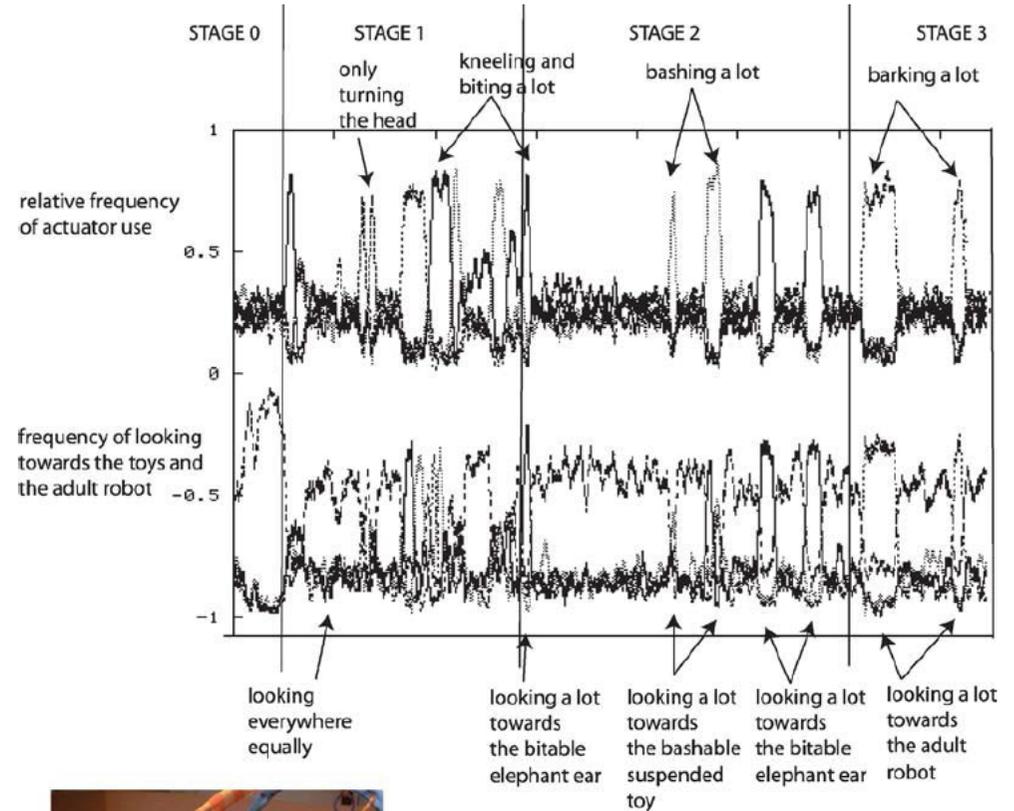
Erreurs de prédiction



Temps passé dans chaque contexte



Passage progressif d'un « babillage » moteur à des actions coordonnées de plus en plus ciblées et sophistiquées.



- biting ———
- bashing ———
- barking ———
- just looking ———
- seeing no object ———
- seeing object 1 ———
- seeing object 2 ———
- seeing object 3 ———
- successful bite ———
- successful bash ———



Découvrir des informations nouvelles est une motivation en soi

Les stimuli nouveaux attirent automatiquement l'attention (réaction d'orientation, ondes MMN, P3, etc).

Ces réponses peuvent s'interpréter comme une motivation intrinsèque de l'organisme à déployer ses ressources pour réduire l'incertitude de ces stimuli (= apprendre).

Concept de « novelty reward » : la découverte d'informations nouvelle agit comme une récompense intrinsèque, qui entre en compétition avec d'autres récompenses au sein du circuit de la dopamine.

Exemples:

Un rat peut être conditionné à préférer un lieu, simplement parce que des objets nouveaux y sont souvent présents (Bevins, 2001).

Les singes macaques savent rechercher activement les informations qui leur manquent. Certains neurones dopaminergiques signalent la quantité d'information attendue et pas seulement la récompense attendue (Bromberg-Martin & Hikosaka, *Neuron*, 2009). Autrement dit, l'information apporte sa propre récompense, directement dans les circuits mêmes de l'addiction aux drogues ou à l'argent.

Enfin, les animaux ont une « aversion pour l'ambiguïté »: ils évitent activement les situations où les probabilités sont inconnues (Hayden, Heilbronner & Platt, 2010).

L'imagerie cérébrale de la curiosité

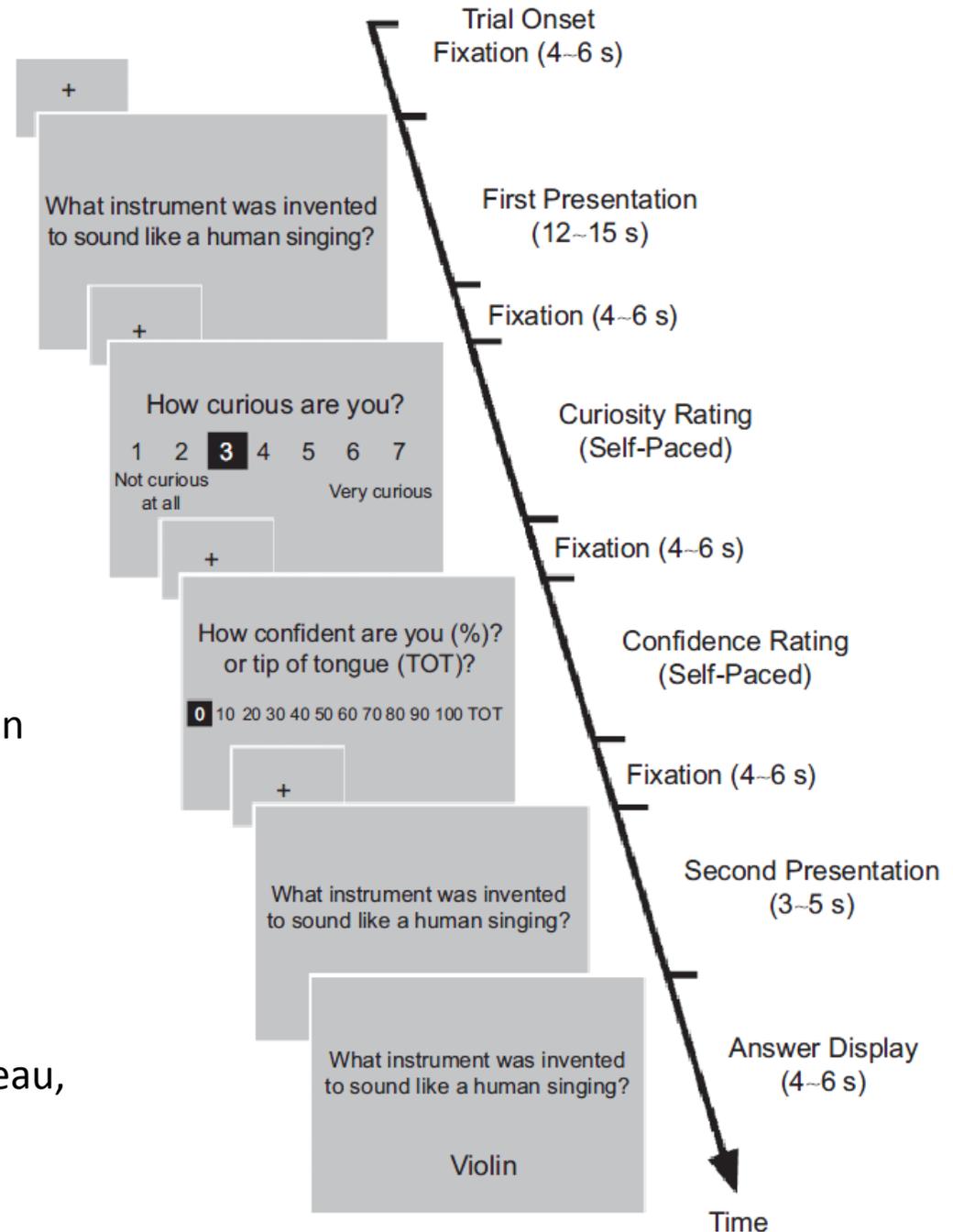
Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., & Camerer, C. F. (2009). The wick in the candle of learning: epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychol Sci*, 20(8), 963–73.

Instructions:

A chaque essai il faut:

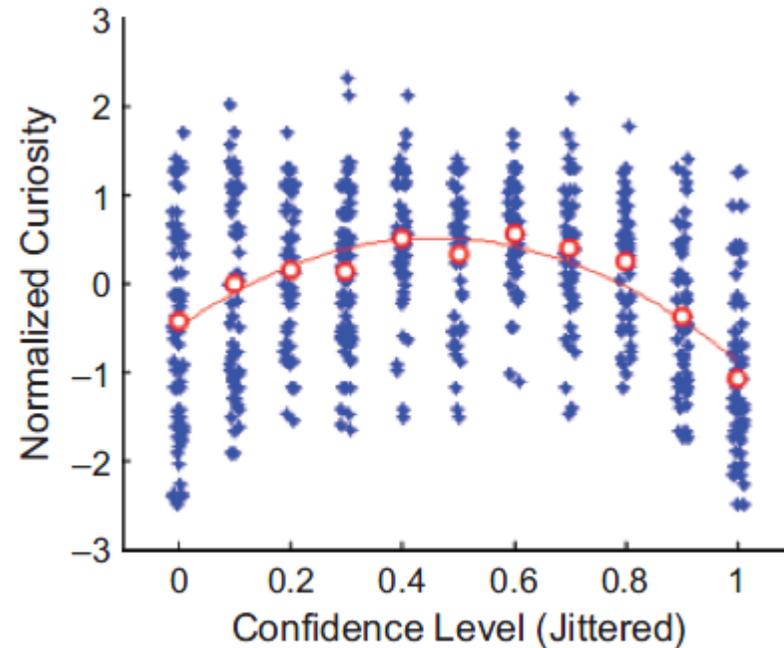
- Lire la question.
- Essayer de deviner la réponse (en silence)
- Indiquer son niveau de curiosité pour la réponse.
- Indiquer son degré de confiance dans la réponse

Ensuite la question s'affiche à nouveau, et enfin la bonne réponse.



Résultats:

- La curiosité se comporte effectivement comme une fonction quadratique inverse de la confiance en soi: $p*(1-p)$ (cf. Loewenstein)
- Pendant la présentation de la question, les essais à haute curiosité augmentent l'activité dans le striatum (noyau caudé, interprété comme une anticipation de la récompense liée à la curiosité) et le cortex frontal inférieur.



z = 21

y = 6

(Ceci ne peut pas simplement être une anticipation de la bonne réponse, car on s'attendrait alors à une dépendance en p .)

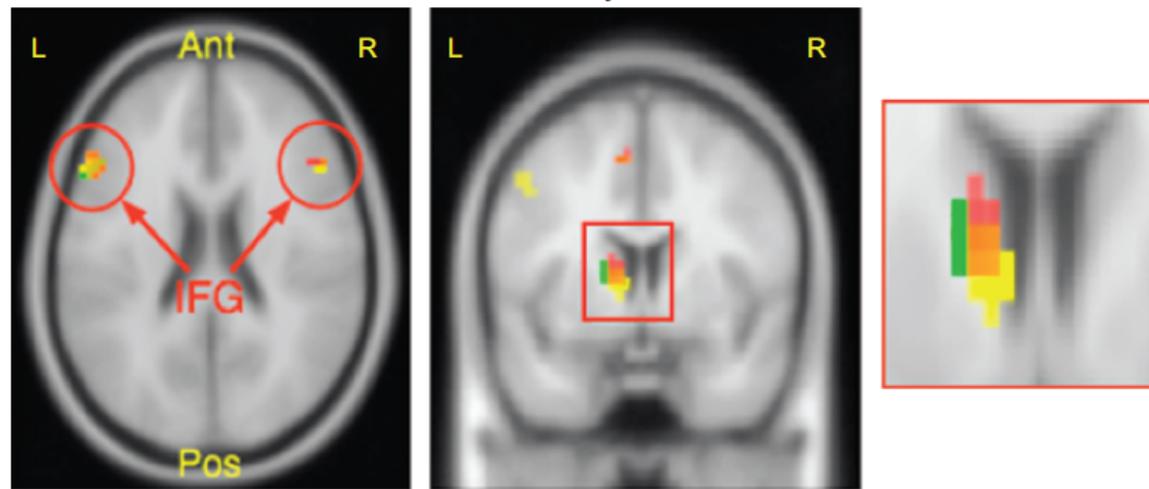
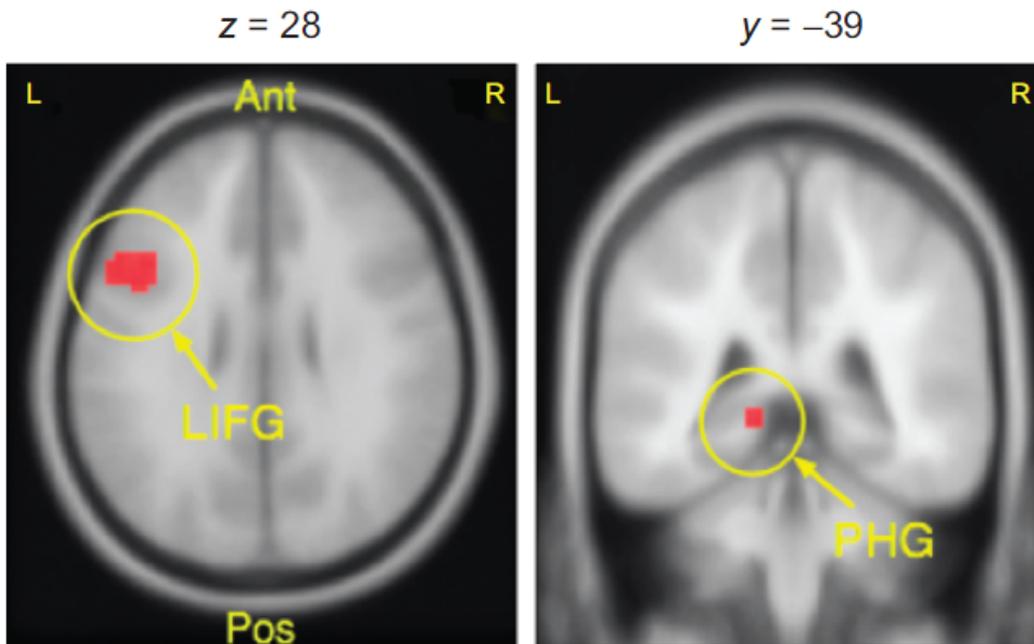
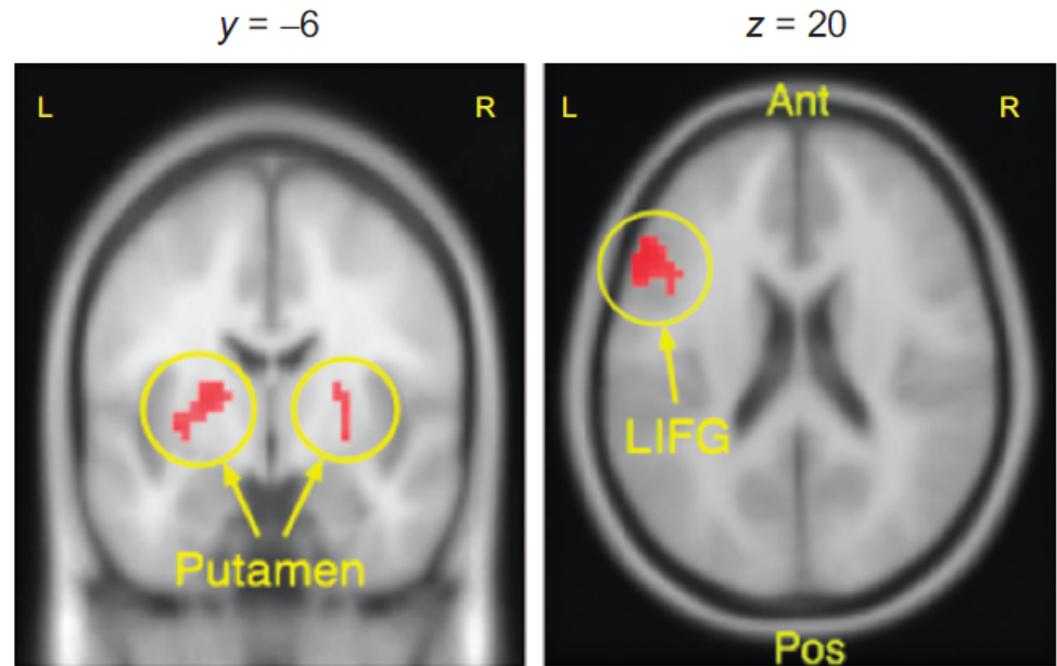


Fig. 2. Brain regions that showed differential activity in high- versus low-curiosity trials during the first question presentation in Experiment 1 ($p < .001$ uncorrected, $p_{rep} > .99$, extent threshold ≥ 5). Colored areas showed greater activation on high-curiosity trials in the median-split analysis (red), the modulator analysis (yellow), and the analysis of residual curiosity (green). The illustration at the right is a close-up view of the overlapping caudate activations. Ant = anterior; Pos = posterior; L = left; R = right; IFG = inferior frontal gyrus.

Pendant la présentation de la bonne réponse, on observe un surcroît d'activation au cours des essais où le sujet s'est trompé, par rapport aux essais corrects (dans le putamen et la région frontale inférieure gauche).

→ Mise à jour d'un modèle interne?



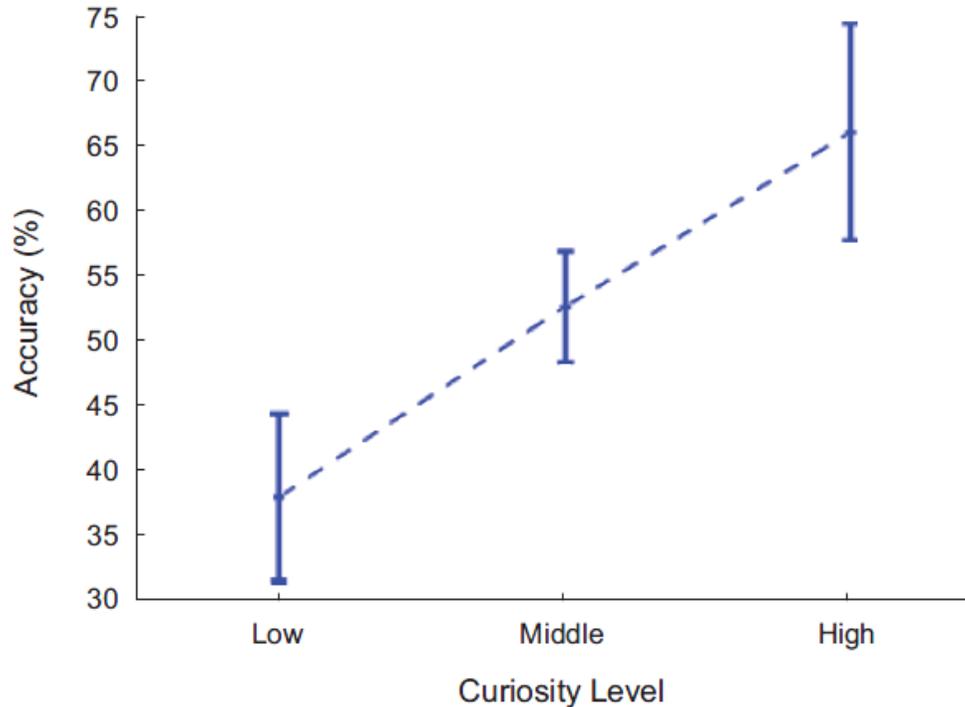
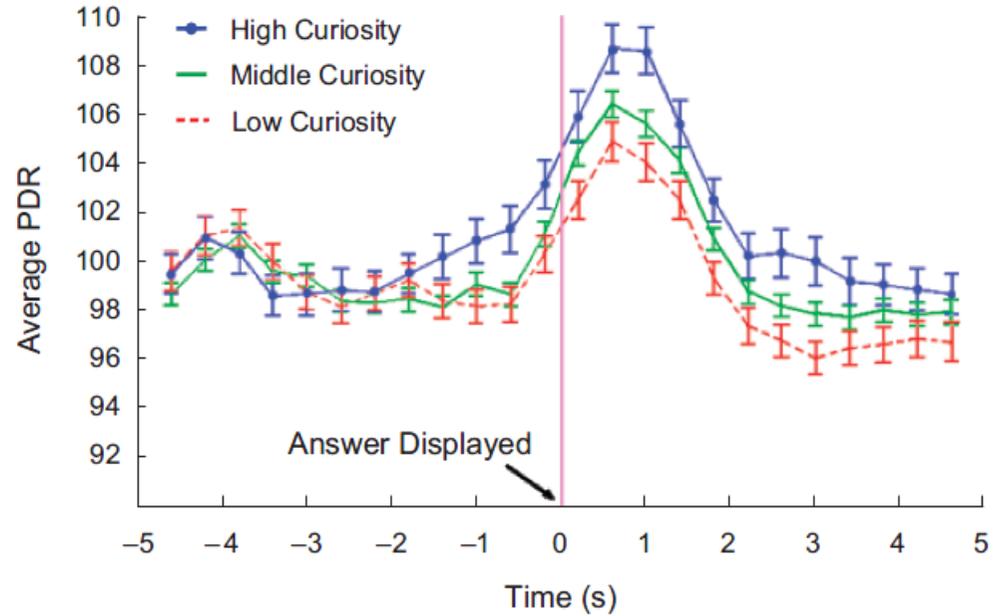
- De plus, cet effet s'accroît en proportion de la curiosité manifestée, uniquement lors des essais erronés.
 - On observe une activation supplémentaire du gyrus parahippocampique.
- La curiosité conduit-elle à une amélioration de la mémorisation?

Expérience 2.

Mesures comportementales:

- dilatation de la pupille
- Test inopiné de mémoire deux semaines plus tard

La pupille se dilate au moment de la réponse, en proportion directe de la curiosité allouée à la question.



La mémoire est bien meilleure pour les questions qui avaient piqué la curiosité 15 jours plus tôt.

Expérience 3.

« Neuro-économie » de la curiosité.

Condition 1. Les sujets disposent de 25 jetons qu'ils peuvent dépenser pour connaître la réponse à la question.

Condition 2. Les sujets doivent attendre une durée variable (entre 5 et 25 s) s'ils veulent connaître la réponse à la question.

Résultats:

Les sujets sont prêts à payer et à passer du temps pour obtenir la réponse à des questions dont ils sont curieux de connaître la réponse.

→ L'information nouvelle possède une valeur intrinsèque pour le système nerveux humain. Ce que nous appelons la curiosité reflète cette valeur et amplifie les apprentissages.

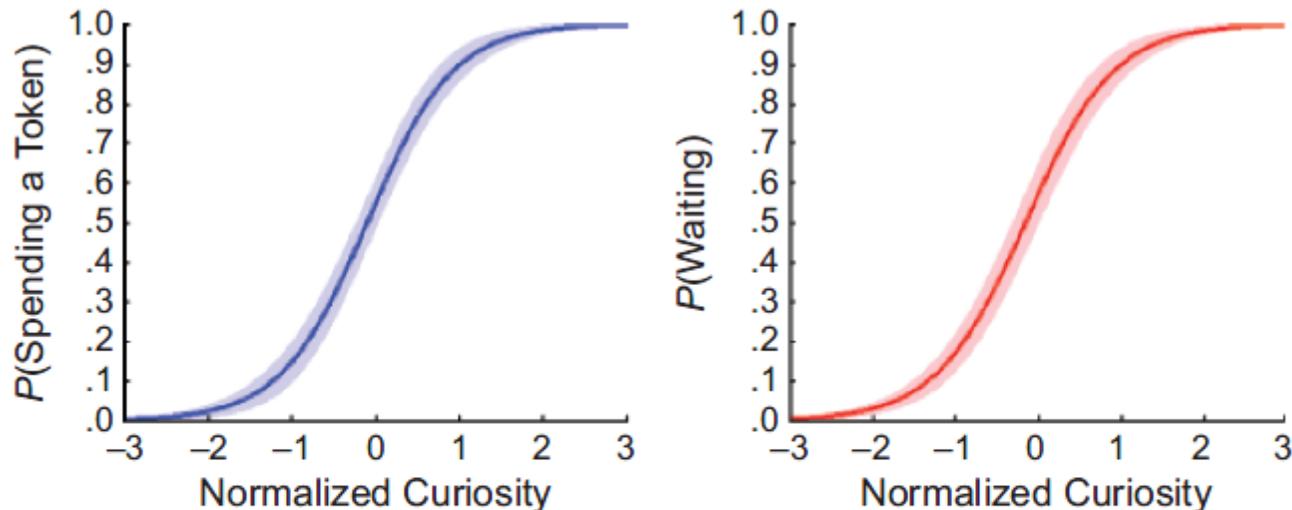


Fig. 5. Results from Experiment 3: Group logistic curves relating normalized curiosity to the probability of spending a token or waiting time to learn the answer to a trivia question. The dependent variables, whether to spend a token (left panel) or to spend assigned waiting time (right panel), were regressed on subject-normalized curiosity ratings and a constant. For each condition, we pooled the data across subjects. The shaded areas around the plotted lines indicate the 95% confidence intervals.

La curiosité module les circuits dopaminergiques et l'apprentissage

Gruber, M. J., Gelman, B. D., & Ranganath, C. (2014). States of Curiosity Modulate Hippocampus-Dependent Learning via the Dopaminergic Circuit. *Neuron*.

L'activité du circuit dopaminergique est proportionnelle à la curiosité

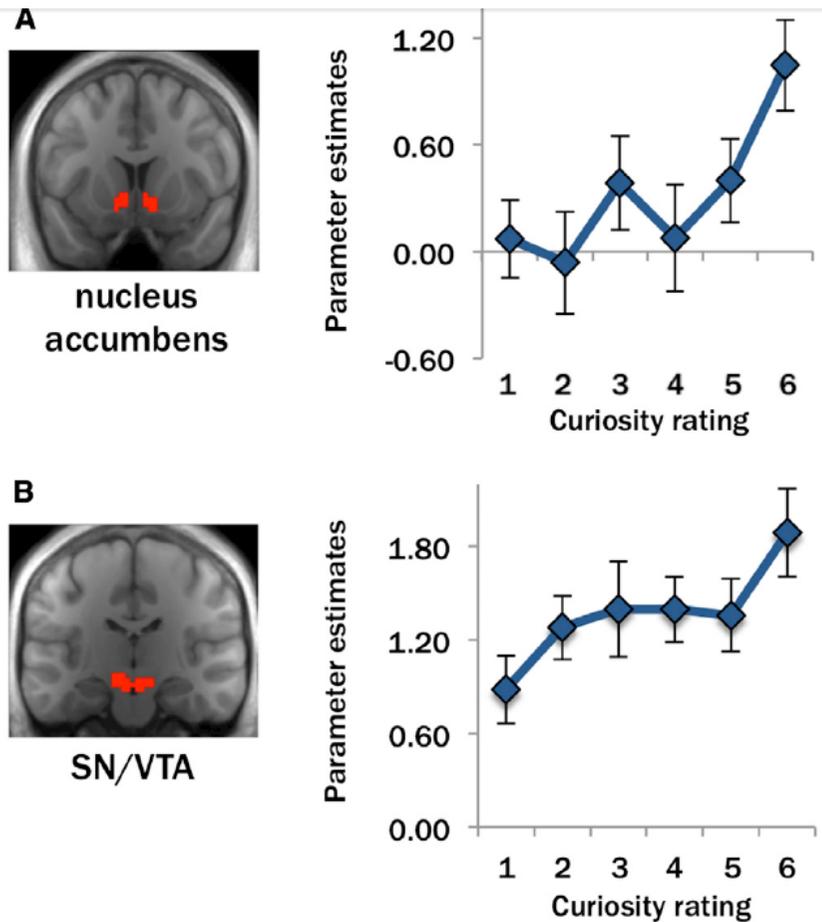
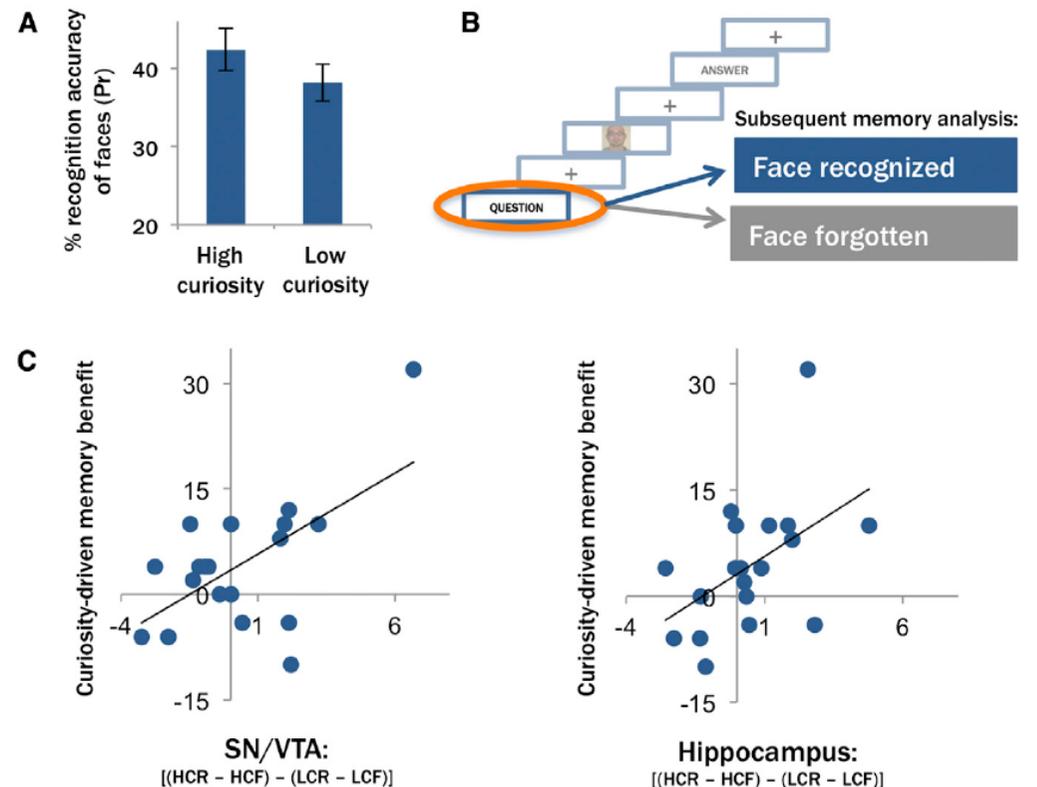


Figure 2. Curiosity-Modulated Activity in the Dopaminergic Circuit

La rétention en mémoire est meilleure lorsque la curiosité est élevée:

- Non seulement pour les faits examinés
- Mais aussi pour des visages présentés de façon fortuite, sans instruction particulière

Cet **apprentissage fortuit** est modulé par l'activité du circuit dopaminergique et de l'hippocampe.



Maximiser la curiosité dans l'enseignement: Comment augmenter l'envie d'apprendre?

- L'apprentissage devrait être facilité lorsque l'enfant est engagé et actif, que sa curiosité est piquée par une situation pédagogique stimulante, et qu'on lui donne un retour immédiat sur ses erreurs.
- L'enseignant peut donc accélérer l'apprentissage en présentant un **environnement enrichi**: des situations (exercices, problèmes, concepts) conçus pour piquer la curiosité, et qui incitent l'enfant à la découverte « spontanée ».
- La curiosité suit une courbe en U inversé: L'enfant peut « décrocher » si on lui propose des situations d'apprentissage, soit trop faciles, soit trop difficiles
 - Principe d'adaptation de l'enseignement au niveau de l'enfant
- La curiosité et l'apprentissage peuvent-ils être **récompensés**? C'est probable, puisque la récompense intrinsèque, liée à l'envie d'apprendre, se combine avec les récompenses extrinsèques au sein du même circuit dopaminergique.
 - On peut, dans une certaine mesure, par des récompenses externes, encourager l'enfant à étudier certains domaines difficiles pour lui.
 - On peut aussi, hélas, décourager l'exploration et tuer la curiosité si chaque tentative d'exploration se solde par une sanction externe.

L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

Les enfants de 5 ans font l'hypothèse que l'enseignant cherche à maximiser leur apprentissage. Dans un contexte d'enseignement « magistral », ils apprennent vite mais leur curiosité diminue.

PEDAGOGICAL	ACCIDENTAL	NO DEMO	INTERRUPTED
“ Watch this , I’m going to show you my toy.”	“Look at this neat toy I found here.”	“Look at this neat toy that I have.”	Identical to Pedagogical except interrupted immediately after
[intentionally pull tube]	[accidentally pull tube]	[rotate toy for child]	“Wow, see that?”
“Wow, see that?”	“Wow, see that?”	“Wow, see that?”	“Wow, see that?”

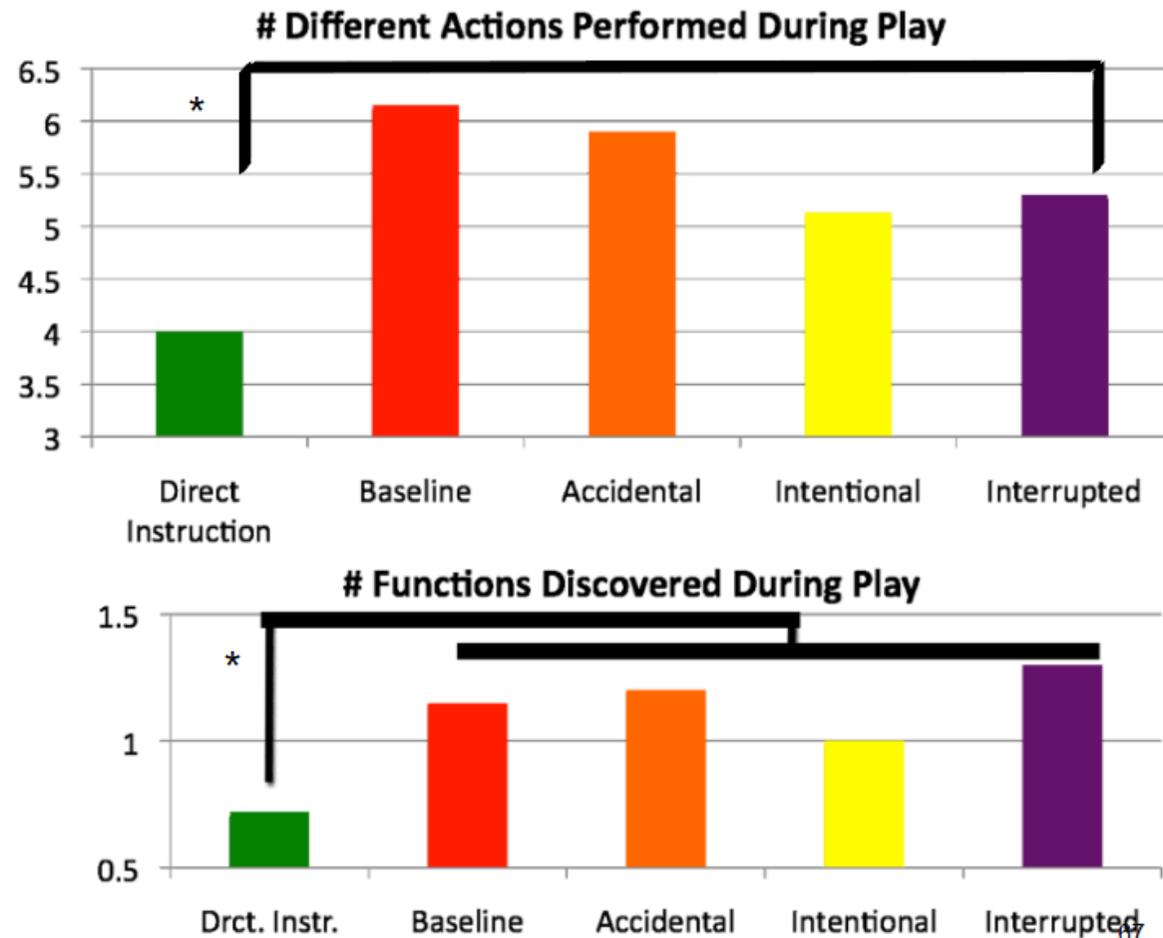
- Four interesting properties



L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

L'instruction explicite peut tuer la curiosité!

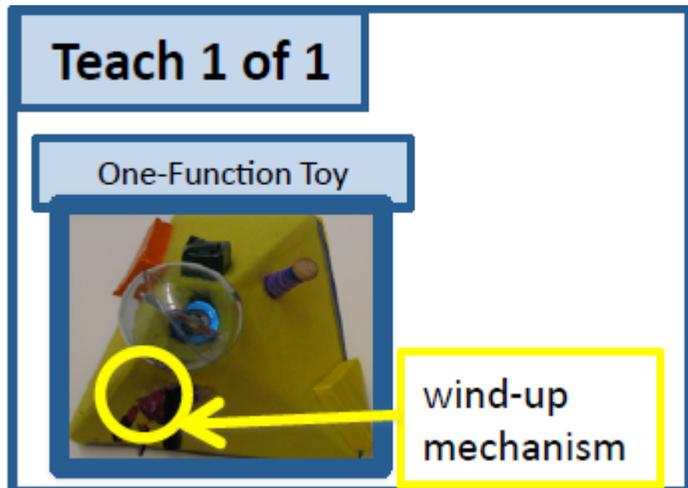


* $p < .05$

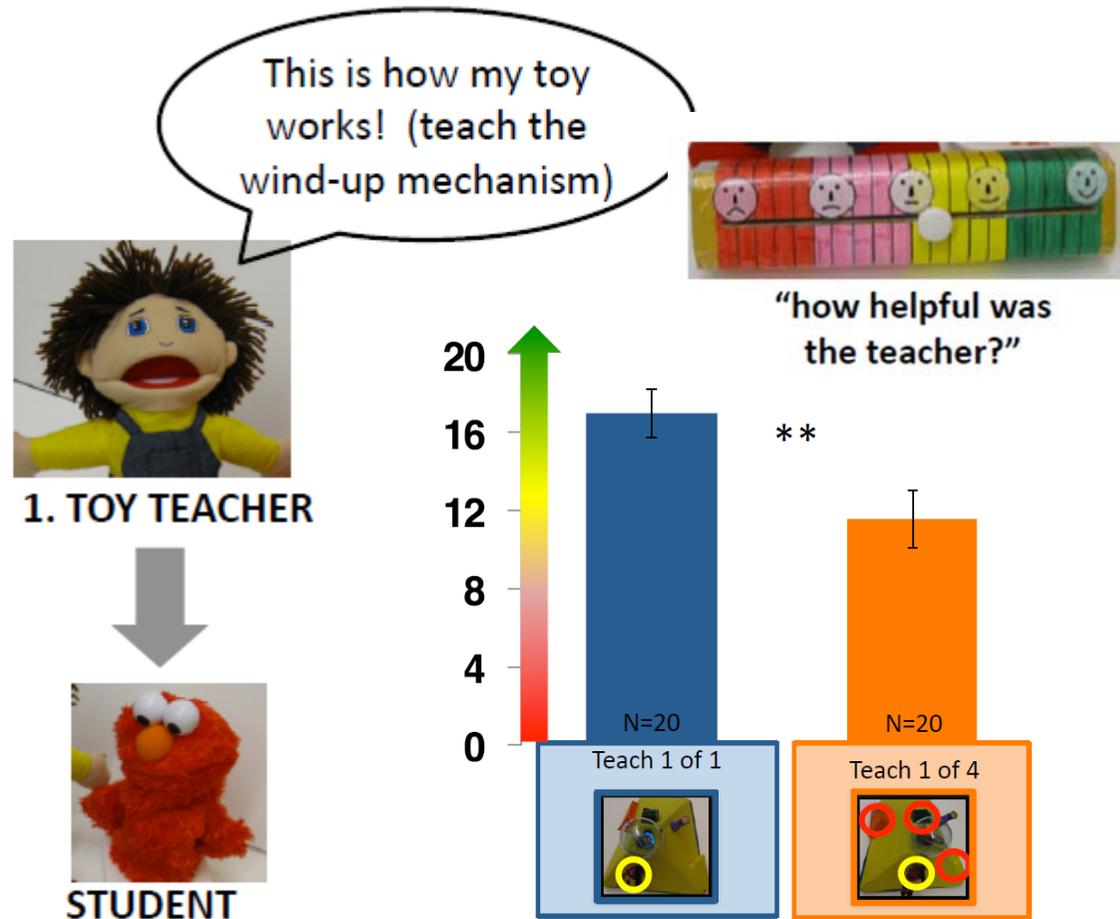
L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

Experience 2: Les enfants sont capables d'évaluer les compétences de l'enseignant...



N = 40, 6 – 7 yrs (M = 6.94)

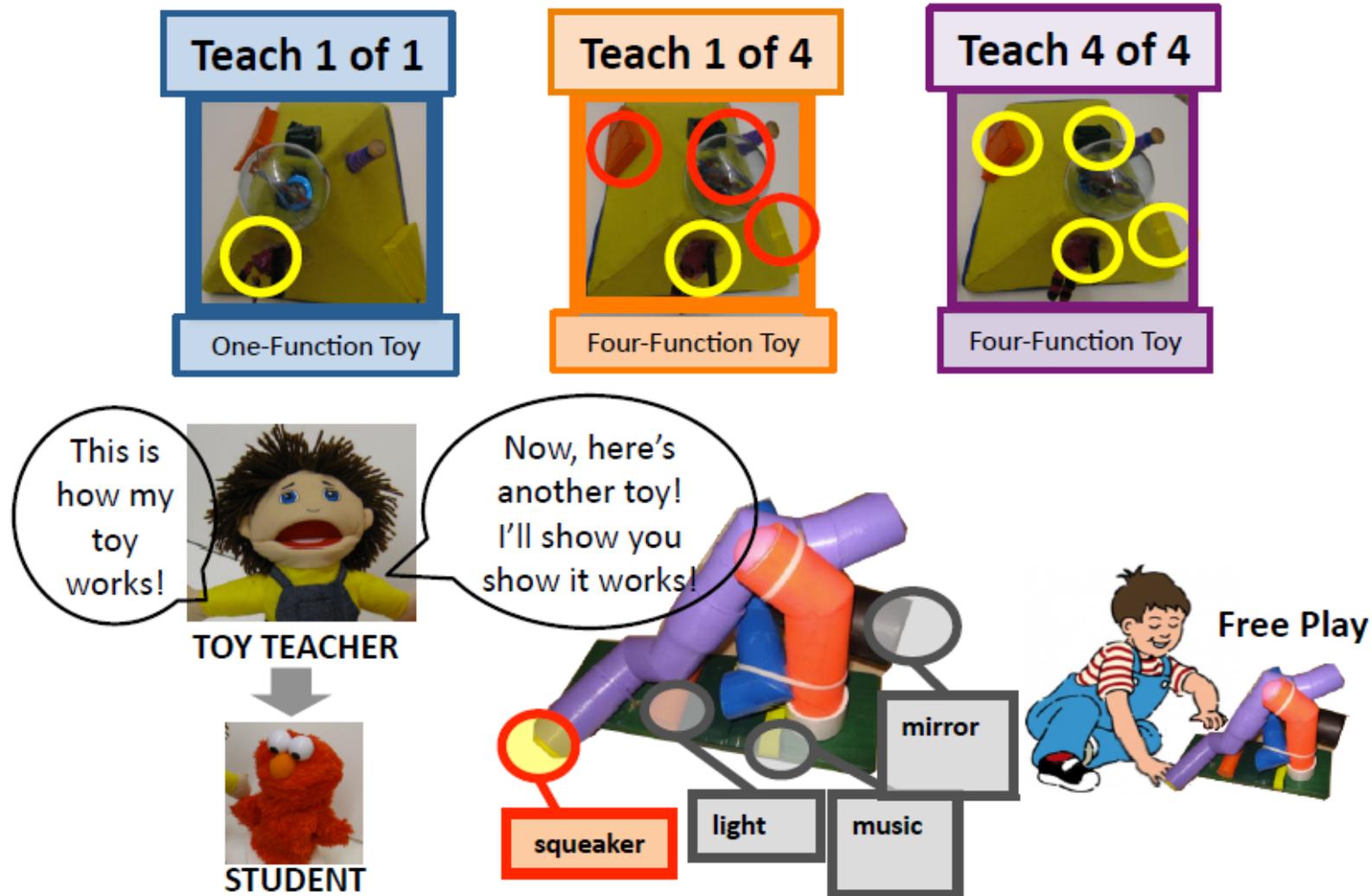


Gweon, Pelton, & Schulz, 2011, *Cog Sci*, and in prep

L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

Experience 2: La “réputation” de l’enseignant influence-t-elle l’envie d’explorer des enfants?



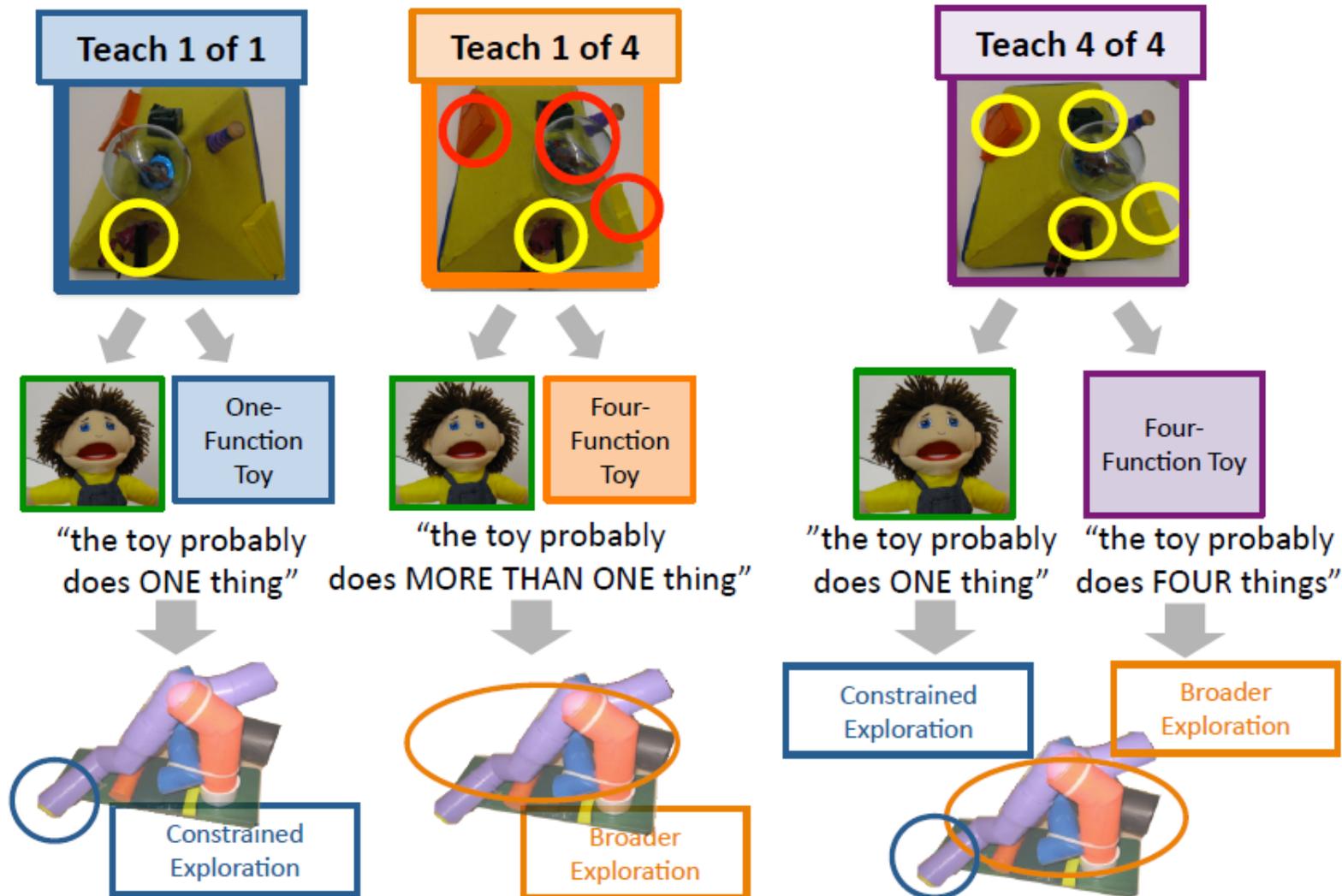
6-year-olds (M = 6.45 yrs) N=20 per condition

Gweon, Pelton, & Schulz, 2011, *Cog Sci*, and in prep

L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

Hypothèse: Si l'enseignant n'enseigne qu'une partie de ce qu'il y a à apprendre, les enfants seront plus motivés d'explorer des fonctions nouvelles.

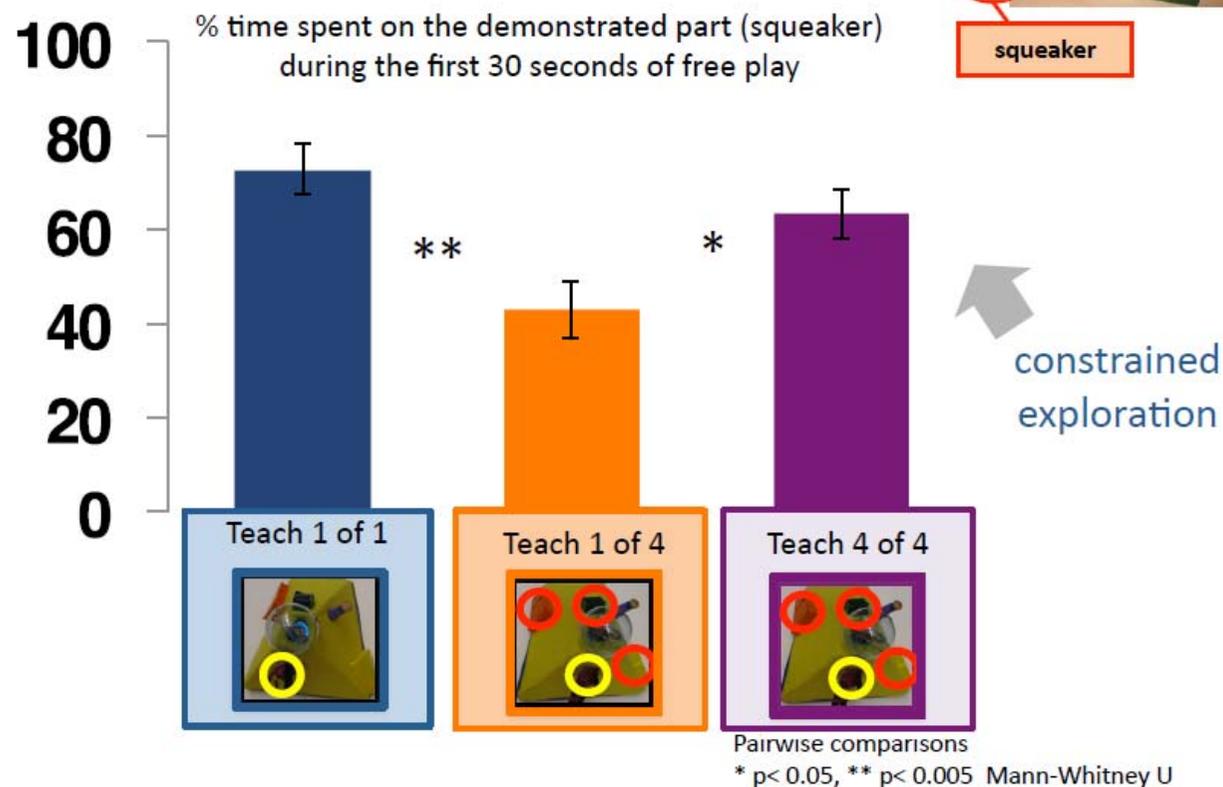


L'enseignement trop explicite peut tuer la curiosité

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double-edged Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. *Cognition*, 120(3), 322–330.

Résultat: Effectivement, les enfants confrontés à un enseignant “exhaustif” (colonnes 1 et 3) se contentent de reproduire ce qu’il a montré, tandis que ceux confrontés à un enseignant “ouvert” (colonne 2) explorent d’autres possibilités.

Free Play with the 2nd Toy



Conclusion: Rendre l'enfant acteur de son éducation

L'enfant doit **rester maximalement attentif, actif, prédictif.**

Plus la curiosité est grande, plus l'apprentissage est facilité.

L'erreur est parfaitement normale – elle est indispensable à l'apprentissage. Mieux vaut un enfant actif, qui apprend de ses erreurs, qu'un enfant passif et qui n'apprend rien.

- Ne pas confondre l'erreur (signal informatif) et la sanction ou la punition. Les punitions ne font qu'augmenter la peur, le stress, et le sentiment d'impuissance.
- Privilégier les motivations positives et les récompenses qui modulent l'apprentissage.
- Le mot « récompense » n'implique ni *behaviorisme* ni conditionnement. Chez notre espèce, éminemment sociale, le regard des autres et la conscience de progresser constituent des récompenses en soi.

Pour **préserver engagement et curiosité**, l'enseignant devrait

- Éviter d'asséner un cours magistral, mais prévoir de nombreux tests
- Fournir à l'enfant un environnement qui laisse (l'illusion de) découvrir
- Récompenser systématiquement la curiosité, et non la décourager