

Cours 2020-2021:

**L'influence du langage et des symboles
sur la perception et la cognition**

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°2

**Pensée sans langage
et hypothèse d'un langage de la pensée**

La thèse d'une identité entre langage et pensée

Dans le *Théétète*, Platon fait dire à Socrate: J'appelle pensée « Un discours que l'âme se tient tout au long à elle-même sur les objets qu'elle examine ». Seule différence: la pensée n'est pas nécessairement vocalisée, c'est un langage intérieur.

Pour Merleau-Ponty (*Phénoménologie de la perception*, 1945), "La pensée n'a rien d'intérieur, elle n'existe pas hors du monde et hors des mots".

Vygotski (*Langage et pensée*, 1934) a une position plus nuancée. D'une part, « La pensée a sa propre structure, et sa transformation en paroles est malaisée ». Mais d'autre part, « La pensée subit de nombreux changements à mesure qu'elle se transforme en paroles. Elle ne s'exprime pas seulement en paroles, mais elle y trouve sa réalité et sa forme ».

Ray Jackendoff attribue cette thèse à une sorte d'illusion métacognitive:

« Nous faisons très souvent l'expérience de nos pensées comme une sorte « monologue intérieur » (*talking to ourselves*) – nous entendons littéralement des mots, des syntagmes ou des phrases dans notre tête, et il est alors vraiment tentant de caractériser la pensée comme une sorte de langage intérieur. »

Jackendoff, R. S. (1996). *The Architecture of the Language Faculty*. The MIT Press, p. 183

Exposé de François Recanati au Colloque de Rentrée du Collège de France:

<http://www.college-de-france.fr/site/colloque-2018/symposium-2018-10-19-09h30.htm>

La thèse d'une indépendance, ou peut-être d'un parallélisme, entre langage et pensée

Le langage exprime la pensée – les deux domaines sont donc en partie indépendants.

Arguments:

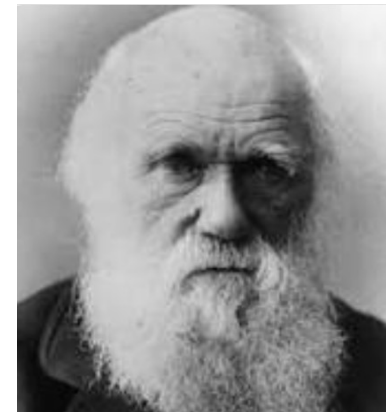
- Polysémie (ex: mon avocat était pourri) et son contraire, la synonymie (sofa/canapé).
- connaissance d'un mot sans en comprendre le concept (exemple: quark? produit dérivé?) (les aveugles peuvent-ils comprendre les noms de couleur?)
- Mot sur le bout de la langue (ex: « cet acteur français qui joue dans 'Le grand blond' »)

François Recanati envisage la situation ainsi:

- les *contenus de pensée* sont indépendants du langage,
- mais la parole accompagne nécessairement toute *activité de pensée* un tant soit peu complexe.

Darwin (*L'ascendance de l'Homme*, 1881): « On ne peut pas plus poursuivre une pensée prolongée et complexe sans l'aide des mots, parlés ou non, qu'on ne peut faire un long calcul sans l'emploi des chiffres ou de l'algèbre. Il semblerait aussi que le cours même des idées ordinaires nécessite quelque forme de langage, car on a observé que Laura Bridgman, fille aveugle, sourde et muette, se servait de ses doigts quand elle rêvait.

[Cependant] une longue succession d'idées vives et se reliant les unes aux autres peut traverser l'esprit sans le concours d'aucune espèce de langage (...). Nous avons vu aussi que les animaux peuvent raisonner dans une certaine mesure, ce qu'il font évidemment sans l'aide d'aucun langage. »



Exposé de François Recanati au Colloque de Rentrée du Collège de France:

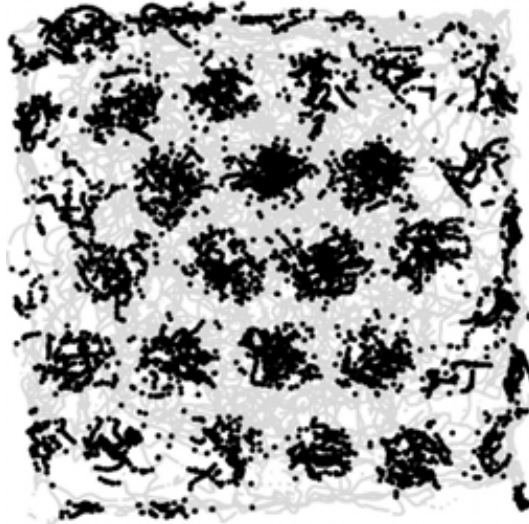
<http://www.college-de-france.fr/site/colloque-2018/symposium-2018-10-19-09h30.htm>

Existe-t-il une pensée abstraite sans langage ?

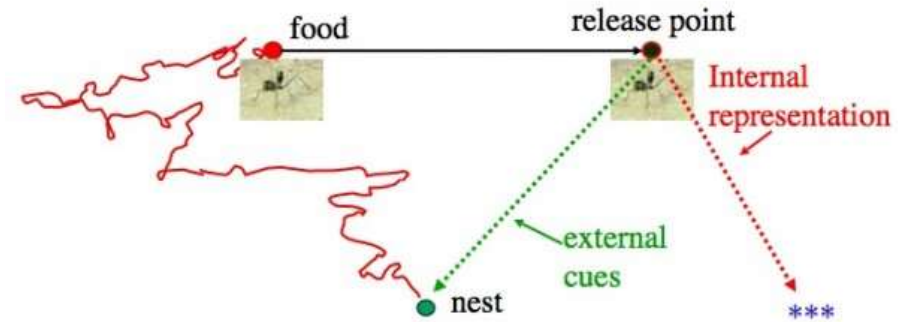
Oui, si l'on entend par « pensée » la représentation mentale et la manipulation d'informations abstraites.

Exemple: existence d'un sens « proto-mathématique » de l'espace et du nombre chez diverses espèces animales

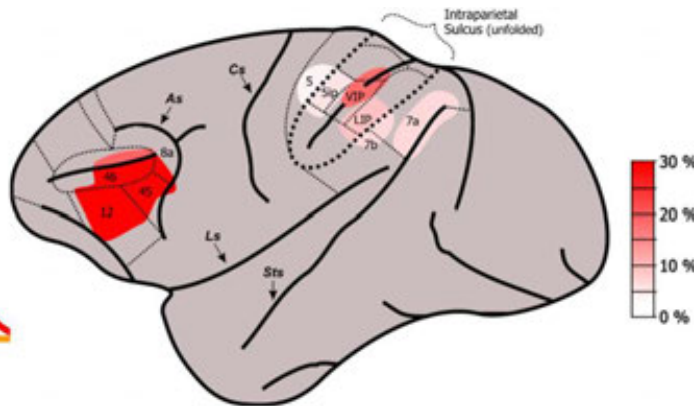
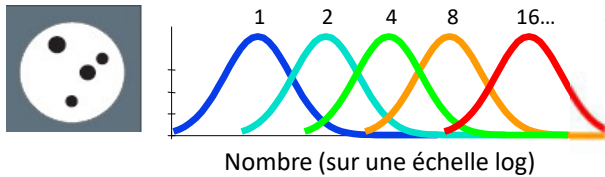
Le cerveau de la souris utilise des cellules de lieu pour cartographier le plan



Les fourmis du désert calculent l'intégrale de leur chemin (et comptent leur pas!)



Le cerveau du singe macaque contient des neurones accordés au nombre approximatif d'objets



Le langage comme outil supplémentaire pour la pensée

Clark, A., & Toribio, J. (2012). Magic Words: How Language Augments Human Computation. In *Language and Meaning in Cognitive Science* (pp. 33–51). Routledge.

Andy Clark, à la suite de Frege, défend l'idée que l'expression de la pensée sous la forme d'un langage (même interne), permet sa manipulation explicite:

« La formulation linguistique rend des pensées complexes accessibles aux processus d'attention mentale, ce qui permet de les soumettre à une variété d'autres opérations. Cela nous permet, par exemple, d'isoler différents éléments d'une pensée complexe afin de les examiner tour à tour ; de stabiliser des idées très abstraites en mémoire de travail ; et d'inspecter et de critiquer notre propre raisonnement.

Le langage est donc un **outil mental** au même titre que la règle à calcul, le sextant ou le compas.

La question demeure de savoir s'il existe des processus de pensée auxquels nous n'aurions *aucun* accès en l'absence de langage. Outil *supplémentaire* ou outil *indispensable* ?

A la suite de Dennett, Andy Clark va jusqu'à proposer qu'une partie de la conscience humaine, celle qui concerne notre capacité d'introspection, résulte de la faculté de langage:

« Il se peut que ce soit le langage public qui soit responsable d'un ensemble de traits distinctifs de la pensée humaine: notre capacité de disposer d'une *dynamique de second ordre* ». Je veux dire par là un groupe de compétences puissantes qui impliquent l'auto-évaluation, l'auto-critique, et la capacité de trouver des solutions finement ajustées. Un exemple serait la capacité de reconnaître un défaut dans notre plan ou notre argument, et d'y dédier des efforts cognitifs supplémentaires afin d'y remédier. (...) dans tous ces cas, nous sommes effectivement en train de penser à nos propres profils cognitifs ou nos pensées particulières. »

→ La pensée *réfléchie* serait nécessairement une pensée *linguistique*

Selon la thèse de Benjamin Whorf, la pensée sans langage devrait être étroitement limitée

Whorf, B. L. (1956). *Language, thought and reality*. Cambridge: MIT Press.

Benjamin Whorf va beaucoup plus loin. Selon lui

- La **formation d'idées abstraites** dépend du langage :

« le système linguistique (...) de chaque langue n'est pas seulement un instrument de reproduction servant à vocaliser des idées mais il est lui-même **formateur d'idées** (...). »

- La **catégorisation** du monde extérieur dépend du langage :

« **Nous découpons la nature selon les tracés que notre langue a dessinés** sur elle. Nous ne découvrons pas les catégories et les types que nous isolons à partir du monde des phénomènes parce qu'elles se trouveraient sous le nez de tout observateur ; au contraire, le monde se présente à nous sous la forme d'un flux kaléidoscopique d'impressions qui doit être organisé par nos esprits — c'est-à-dire en grande partie par nos systèmes linguistiques mentaux (...). »

La psychologie du développement contemporaine est en complet désaccord avec ces hypothèses:

Nous héritons de notre évolution :

- Des systèmes innés (donc universels) de représentation du monde, extrêmement abstraits
- Des algorithmes d'apprentissage non-verbaux, capables de découvrir des catégories abstraites et universelles
- Et, peut-être spécifiquement chez *homo Sapiens*, un langage de la pensée capable de recombinaison ces représentations pour former des pensées plus complexes.

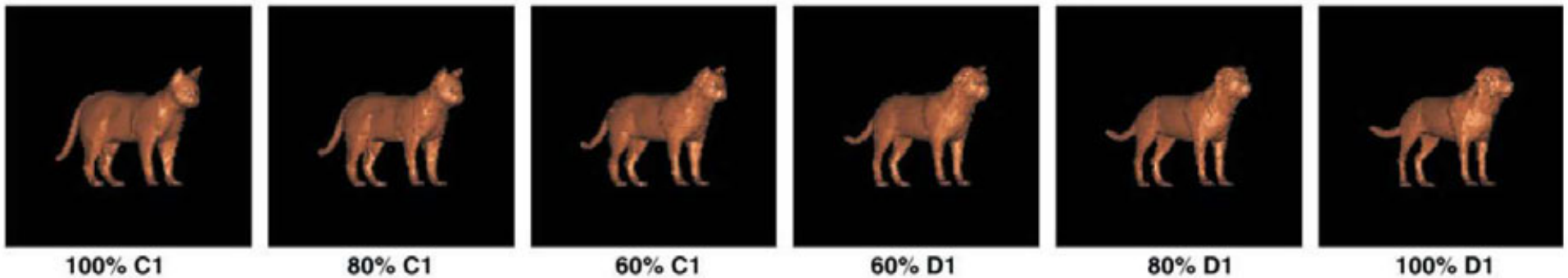
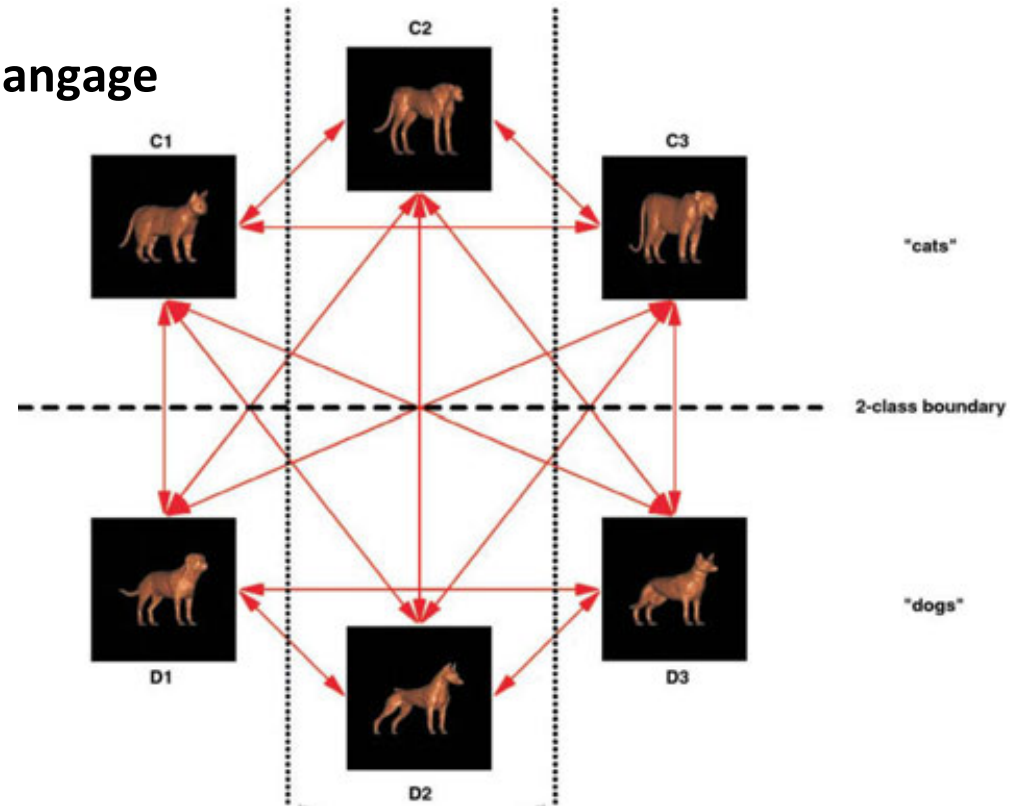
La formation de catégories ne dépend pas du langage

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291(5502), 312–316.

Création d'images avec

- 3 espèces de félins et 3 chiens
- Tout un continuum d'images entre les félins et les chiens.

Cette manipulation permet de décorréliser l'appartenance à la même catégorie et la similarité visuelle : des stimuli similaires peuvent se trouver des deux côtés de la frontière catégorielle.



La formation de catégories ne dépend pas du langage

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291(5502), 312–316.

Les singes sont entraînés à réaliser une tâche de réponse différée: deux images successives appartiennent-elles à la même catégorie ou pas ?

Le comportement montre que les animaux ont formé des catégories très nettes, qui séparent des images proches de la frontière : le comportement change radicalement pour les images 60%/40% versus 40%/60%.

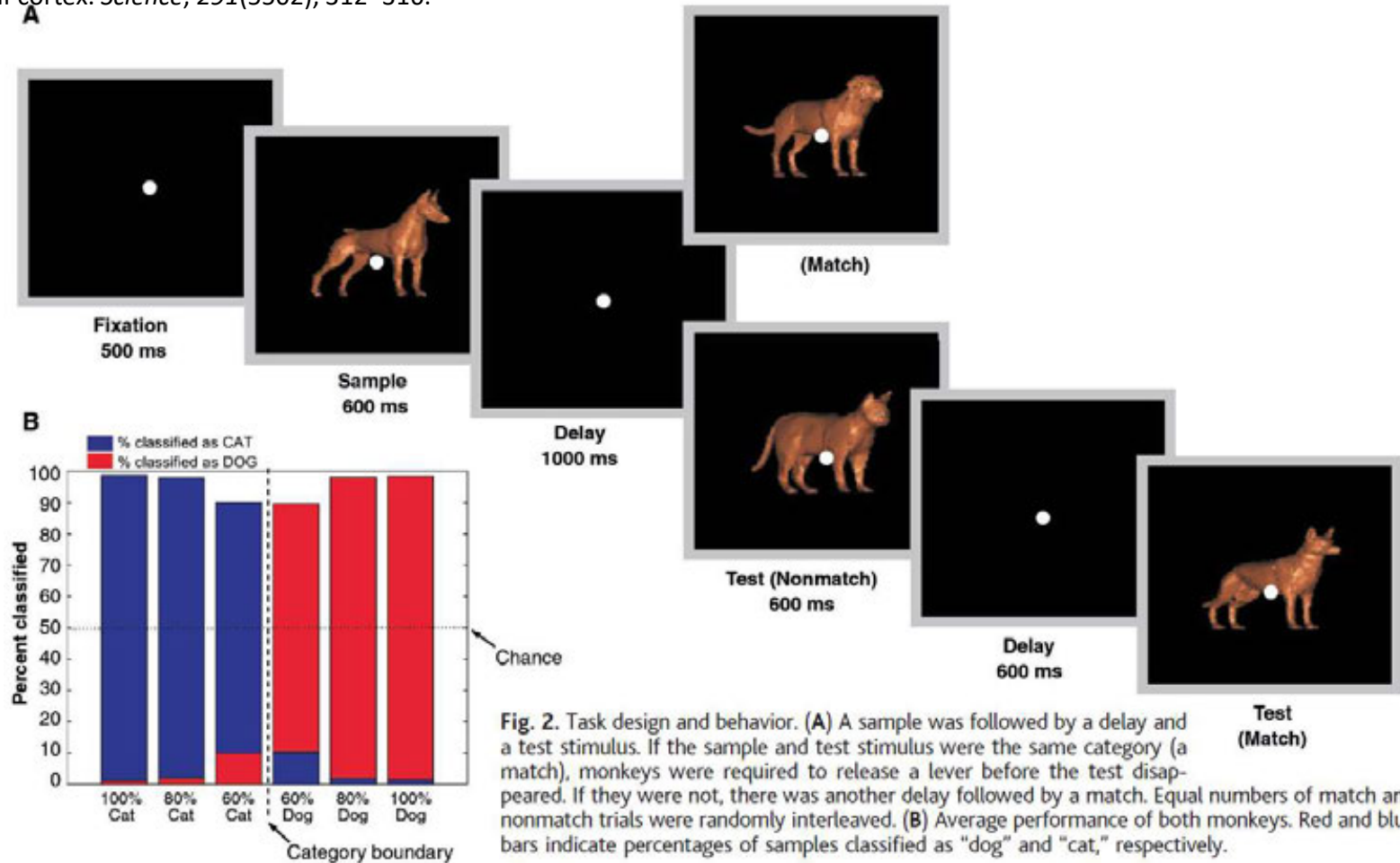
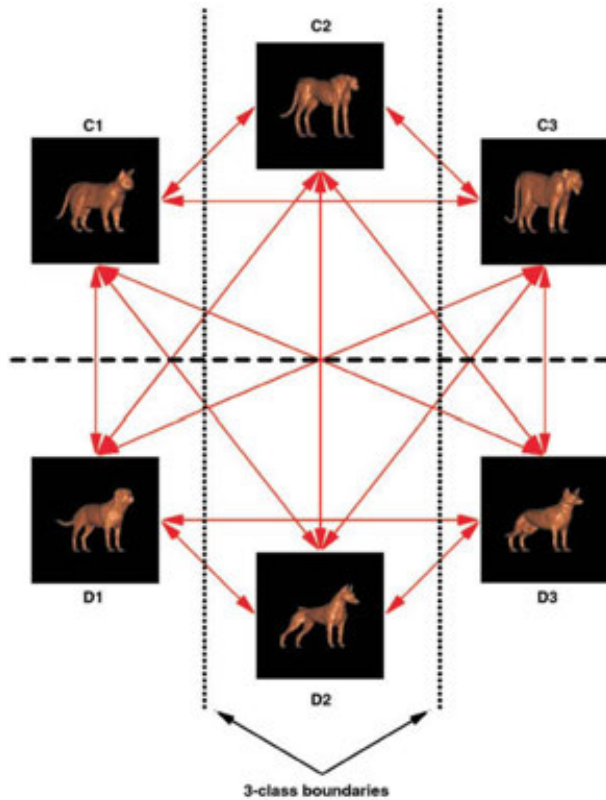


Fig. 2. Task design and behavior. (A) A sample was followed by a delay and a test stimulus. If the sample and test stimulus were the same category (a match), monkeys were required to release a lever before the test disappeared. If they were not, there was another delay followed by a match. Equal numbers of match and nonmatch trials were randomly interleaved. (B) Average performance of both monkeys. Red and blue bars indicate percentages of samples classified as "dog" and "cat," respectively.

La formation de catégories ne dépend pas du langage

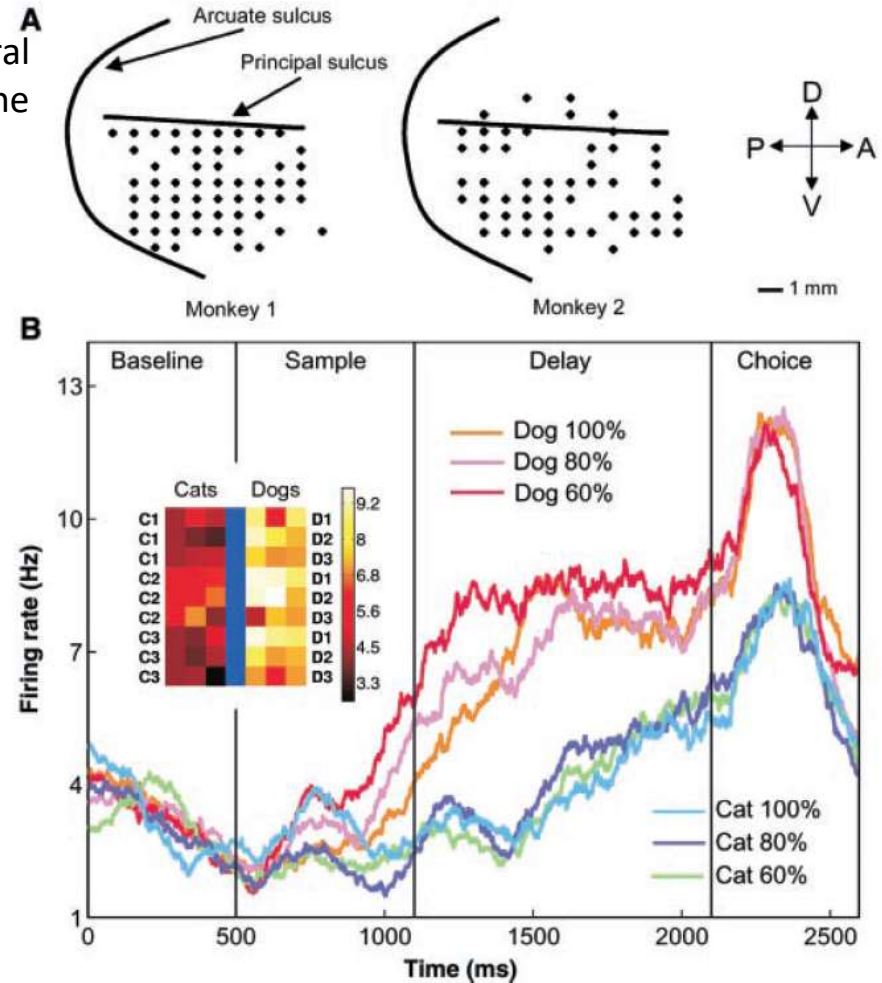
Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291(5502), 312–316.

Pendant le délai, de nombreux neurones du cortex préfrontal dorsolatéral déchargent pour l'une ou l'autre des deux catégories, à nouveau avec une frontière nette – et ce quels que soient les exemplaires présentés.



Un animal a été ré-entraîné à recatégoriser les mêmes stimuli selon un autre axe, en trois groupes.

Après entraînement, les neurones du cortex préfrontal ne reflètent plus l'ancienne catégorie (félins/chiens) mais uniquement la nouvelle division en trois catégories.



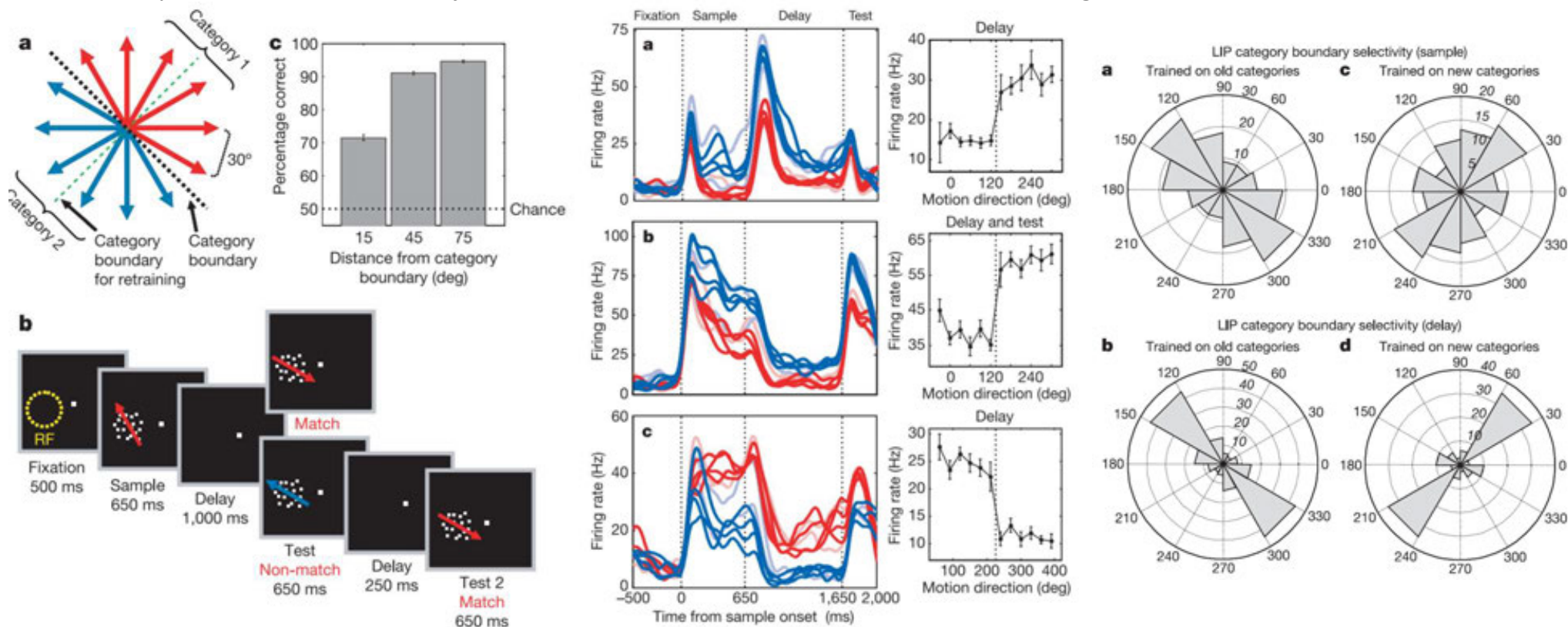
La formation de catégories ne dépend pas du langage

Freedman, D. J., & Assad, J. A. (2006). Experience-dependent representation of visual categories in parietal cortex. *Nature*, 443(7107), 85–88.

L'effet de catégorisation n'est pas spécifique au cortex préfrontal, mais s'observe également dans l'aire LIP pour des catégories visuelles (ici la direction du mouvement).

Après réentraînement, les neurones changent leur préférence en direction de la nouvelle frontière catégorielle.

L'aire MT représente la direction objective du mouvement, tandis que l'aire LIP la catégorise selon la tâche demandée.



Les principes de formation des catégories semblent identiques chez l'homme et le babouin

Chemla, E., Dautriche, I., Buccola, B., & Fagot, J. (2019). Constraints on the lexicons of human languages have cognitive roots present in baboons (*Papio papio*). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(30), 14926–14930.

Emmanuel Chemla propose un principe simple qui gouverne l'acquisition des mots dans toutes les langues: le principe de connectivité:

si A est un « blicket », et B est aussi un « blicket », et C est « entre » A et B, alors C est un « blicket ».

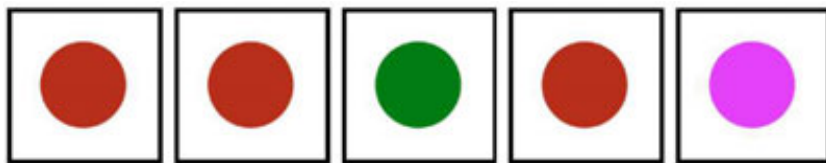
Exemples: aucun mot ne signifie: « table ou canapé »; « rouge ou vert »; « tout ou rien »;

Dans le domaine des nombres, on observe par exemple « quinze » ou « quinzaine »; exception: « pair »

Xu et Tenenbaum (2007): les enfants postulent que les mots réfèrent à des catégories enchâssées mais connexes (médor, chien, mammifère, animal).

Shepard (Science, 1987) postule que l'apprentissage repose sur des régions connexes dans toutes les espèces.

Chemla, Buccola, and Dautriche (2018) testent cette idée chez l'homme: On présente un ensemble d'objets et on demande s'ils obéissent à la règle ou pas:



Is the display consistent with the rule?

Yes No

▶ Monotone

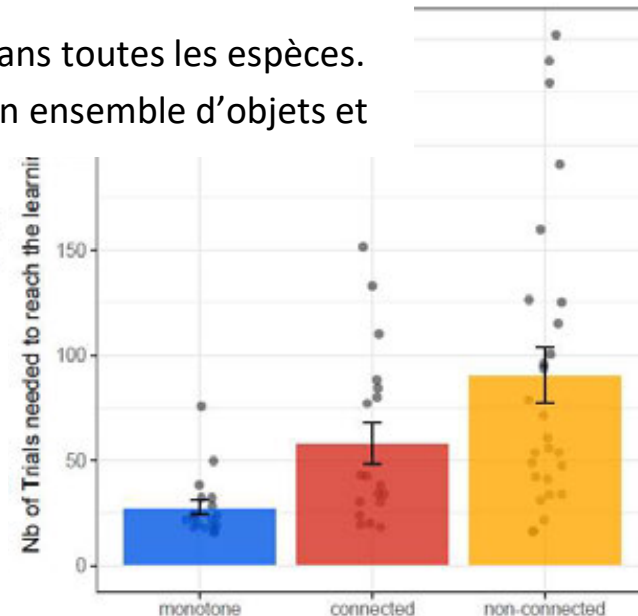
- ▶ There are at least 3 red objects.
- ▶ There are at most 2 red objects.

▶ Connected

- ▶ There are 1, 2, or 3 red objects.
- ▶ There are 2, 3, or 4 red objects.

▶ Non-connected

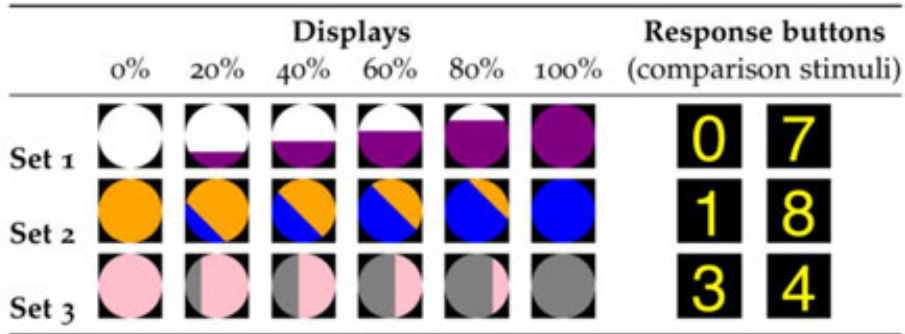
- ▶ There are 1, 2, or 4 red objects.
- ▶ There are 1, 4, or 5 red objects.
- ▶ There are 0, 1, or 5 red objects.



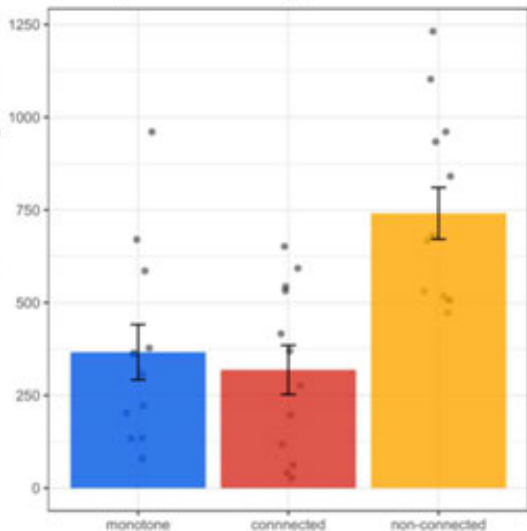
Les principes de formation des catégories semblent identiques chez l'homme et le babouin

Chemla, E., Dautriche, I., Buccola, B., & Fagot, J. (2019). Constraints on the lexicons of human languages have cognitive roots present in baboons (*Papio papio*). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(30), 14926–14930.

Chez le babouin: on présente un continuum de stimuli, et on examine si celui-ci parvient à les classifier en deux catégories:



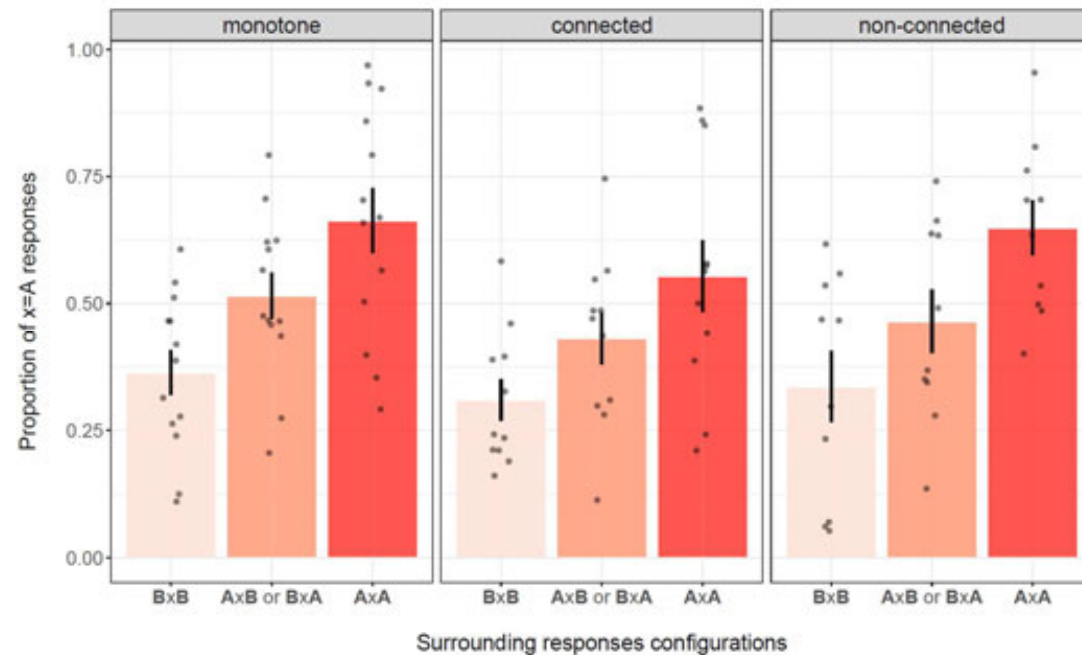
Analysis 1: Learning performance



Les animaux montrent un biais pour la connectivité

- Dans leur vitesse d'apprentissage
- Dans leurs biais idiosyncrasiques: s'ils ont répondu A aux voisins de x, ils répondent aussi A à x.

Conditions	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Monotone	A	A	A	B	B	B
Connected	B	B	A	A	A	B
Non-connected	B	A	A	B	B	A



Les animaux ont accès à des catégories conceptuelles abstraites

Premack, D., & Premack, A. (2003). *Original Intelligence: Unlocking the Mystery of Who We Are*. McGraw Hill.
 Premack, David. (2010). Why humans are unique: Three theories. *Perspectives on Psychological Science*, 5(1), 22–32.

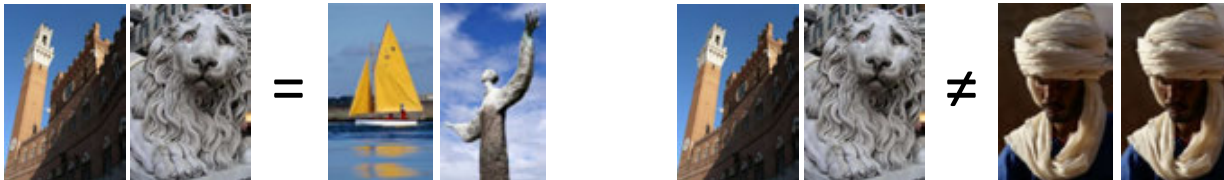
Les concepts comparatifs tels que plus grand/plus petit, au dessus/au dessous, pareil/différents sont accessibles aux primates non-humains.

De nombreux travaux ont montré que les primates (mais aussi les pigeons et les abeilles!) peuvent juger si des paires d'images étaient pareilles ou différentes.

Qu'en est-il des « relations entre les relations » ?

Les paires AA et BB sont toutes les deux pareilles, donc elles sont reliées par la relation « pareil »

Les paires EF et GH sont toutes les deux différentes... donc elles sont reliées par la relation « pareil »

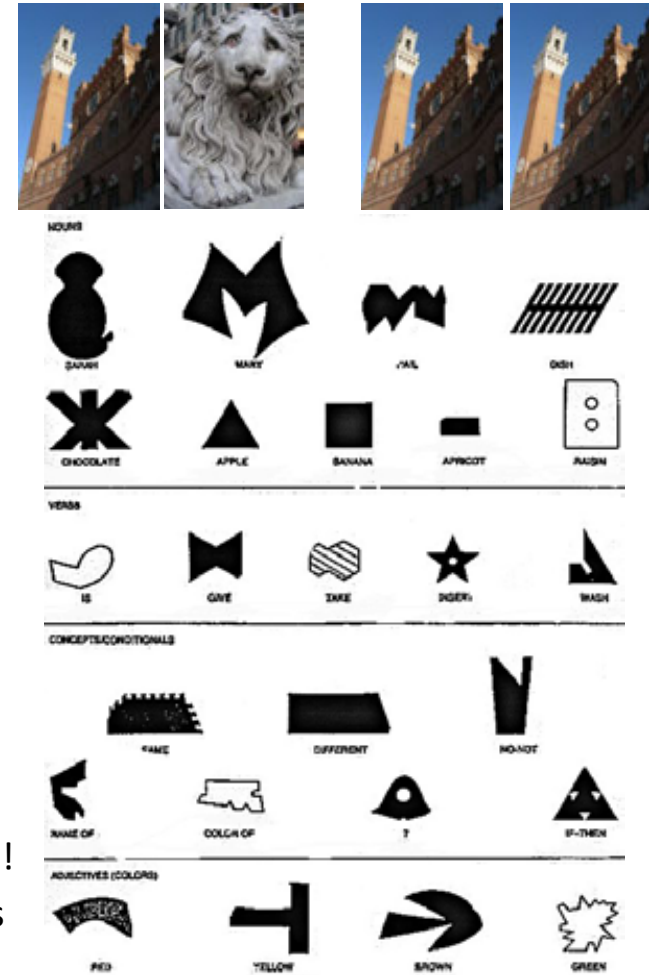


Les chimpanzés peuvent-ils comprendre des « relations de relations » ?

La chimpanzée Sarah, qui avait appris des symboles pour de nombreux concepts, y compris « pareil » et « différent », parvenait à les appliquer à des paires d'objets.

Elle parvenait également à voir la similarité entre verre à moitié plein et demi-pomme!

Premack (2010) indique que l'apprentissage des symboles n'est pas la seule voie, mais qu'il accélère considérablement la compréhension des relations de second ordre.



Les animaux ont accès à des catégories conceptuelles abstraites

Thompson, R. K., Oden, D. L., & Boysen, S. T. (1997). Language-naive chimpanzees (*Pan troglodytes*) judge relations between relations in a conceptual matching-to-sample task. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 23(1), 31.

Thompson et al. testent 5 animaux: Sarah, 3 autres chimpanzés qui ont juste été conditionnés à utiliser des *tokens*, et un chimpanzé totalement naïf. Tâche = choix forcé parmi deux possibilités (le choix correct est indiqué entre parenthèses).

Problem set and pair	Conceptual-relational matching				Physical matching			
	Identity		Nonidentity		Identity		Nonidentity	
Problem Set 1								
Sample	AA		RF		MM		NO	
Alternative	(BB)	CD	BB	(CD)	(MM)	NO	MM	(NO)

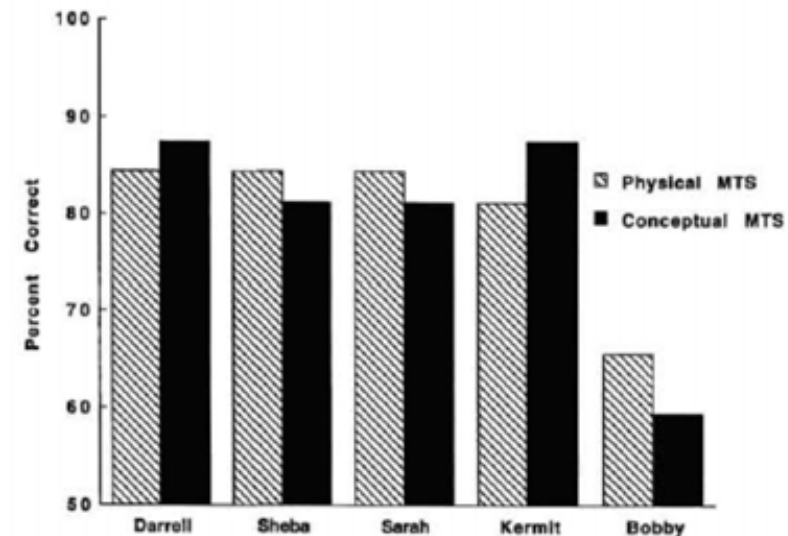
Précautions méthodologiques multiples:

- renforcement indifférencié des deux choix (uniquement pour les relations de second ordre) pour examiner le comportement spontané
- généralisation à des stimuli nouveaux, bien équilibrés en similarité

Résultats: seuls les animaux qui ont eu un entraînement avec des étiquettes arbitraires (*tokens*), même en l'absence d'un langage structuré, ont réussi la tâche (aux alentours de 80%).

Conclusion: un langage structuré n'est pas nécessaire à cette tâche.

L'étiquetage des paires comme « pareil » ou « différent » suffit à donner accès à un second niveau de représentation.

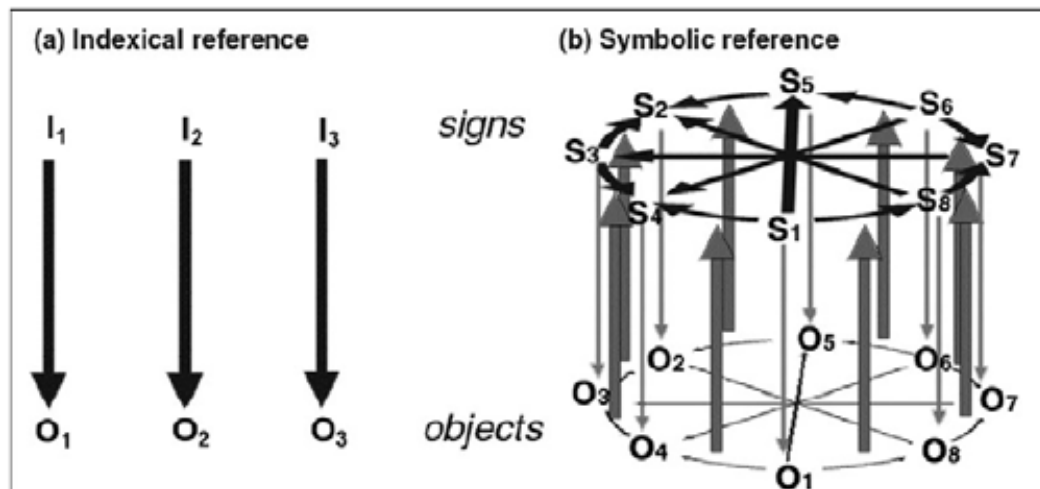


Les signes acquis par les animaux ne sont pas identiques aux symboles de l'espèce humaine

Deacon, T. (1997). *The symbolic species*. New York: Norton.

Nieder, A. (2009). Prefrontal cortex and the evolution of symbolic reference. *Curr Opin Neurobiol*, 19(1), 99–108.

- Même des espèces dépourvues d'apprentissage vocal peuvent apprendre **des dizaines de signes**.
- Ces signes sont bien plus que des « icônes » : la relation signifiant-signifié est **arbitraire**.
- **S'agit-il d'indices ou de symboles?**
 - **Non-reversibilité**: Incapacité de faire des aller-retours flexibles entre le signifiant et le signifié
 - Les animaux ne parviennent pas à combiner plusieurs symboles dans une phrase, selon une authentique **syntaxe**



Absence de réversibilité (« symmetry ») des associations conditionnées chez le singe

Sidman, M., Rauzin, R., Lazar, R., Cunningham, S., Tailby, W., & Carrigan, P. (1982). A search for symmetry in the conditional discriminations of rhesus monkeys, baboons, and children. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 37(1), 23–44.

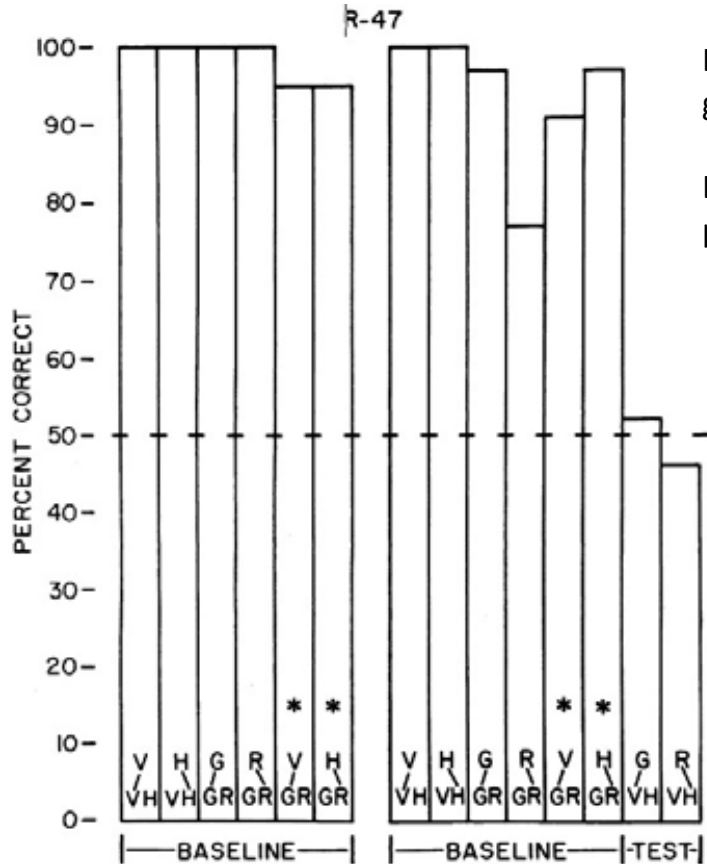


Fig. 5. Monkey R47's performances during Experiment 1's symmetry test (right side) and the preceding baseline sessions (left side). Bars depict the percentage of correct responses for each trial type (corresponding to Table 2). Stimuli for each trial type are identified at the bottom of the bars, with a line connecting each sample to its correct comparison. Asterisks denote the line-base trial types tested for symmetry, and the two righthand bars depict the hue-line symmetry probes. All correct trials, including probes, were reinforced. Each bar represents 35 to 40 trials. Only line-line trials had differential sample schedules.

Les singes macaques et les babouins échouent massivement à un test de généralisation dans la direction inverse (réversibilité ou « symétrie »).

Les enfants de 4-5 ans réussissent à généraliser en sens inverse, dans un test bien plus court que celui où les singes macaques échouent systématiquement.

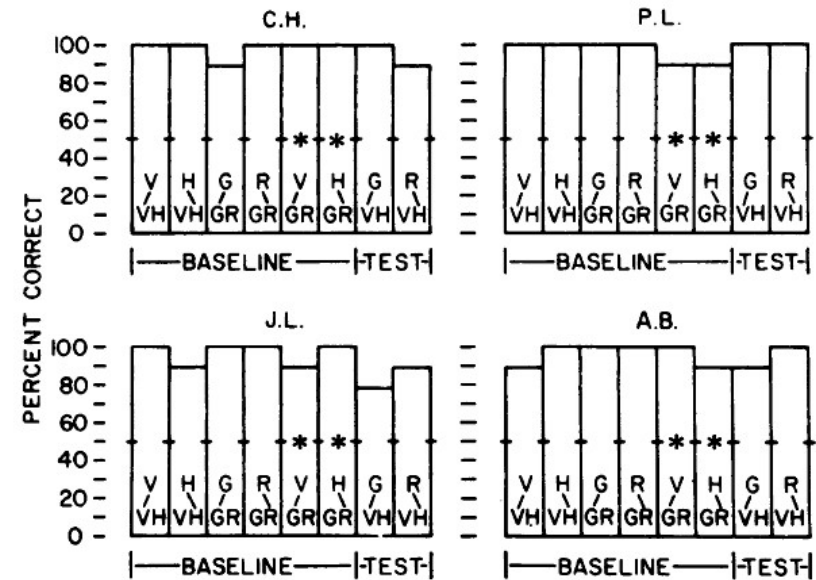
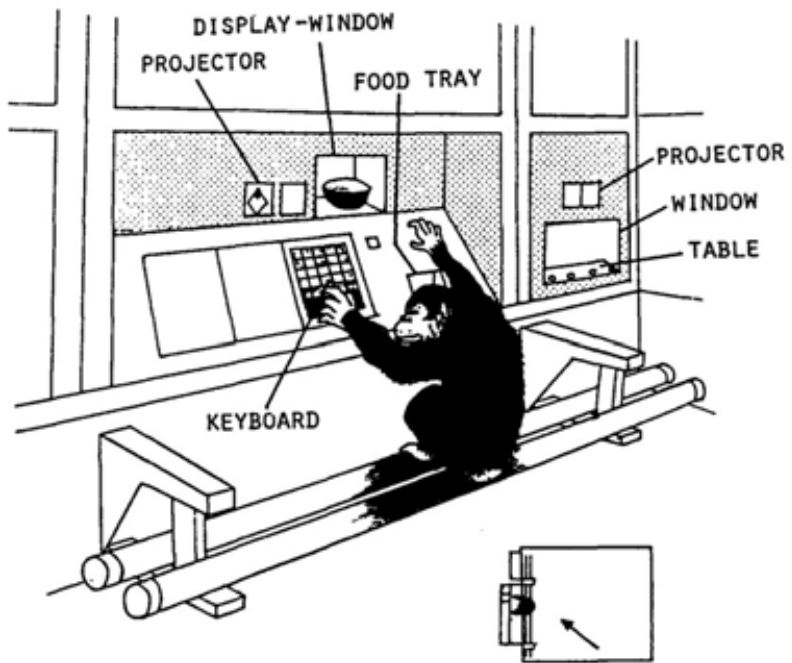
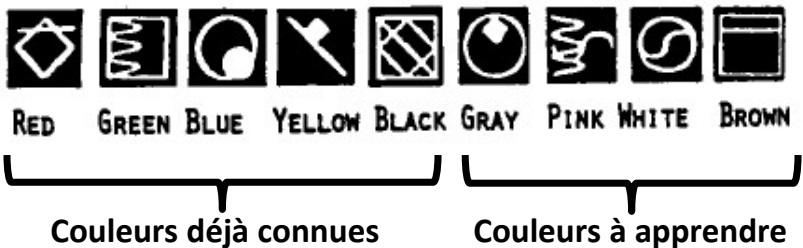


Fig. 6. Performances by four children during symmetry tests in Experiment 3. Bars depict the percentage



Ai a déjà appris de nombreux lexigrammes, dont 5 couleurs, dans les deux sens. On lui fait apprendre 4 nouvelles couleurs.

LEXIGRAMS FOR COLOR NAMES



L'absence de réversibilité chez le chimpanzé Ai

Kojima T: Generalization between productive use and receptive discrimination of names in an artificial visual language by a chimpanzee. *Int J Primatol* 1984, 5:161-182.

Deux couleurs sont apprises en production, deux autres en réception:

Production ○
On montre un objet, Ai indique le lexigramme

Réception ●
On affiche un lexigramme, Ai choisit un objet parmi deux.

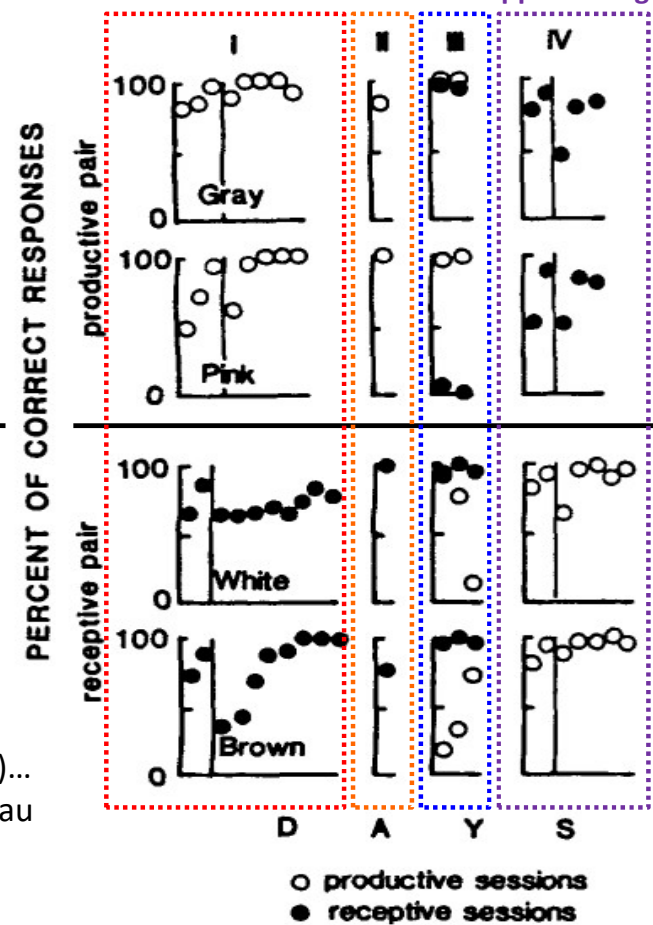
Ai apprend bien (quoiqu'il lui faille plusieurs jours pour approcher 100%)... Mais elle se comporte pratiquement au niveau du hasard dans les essais inversés.

Apprentissage

Généralisation à de nouveaux objets

Nouvel ordre

Réapprentissage



L'association symbole-objet chez le singe et chez l'homme: Une étude en IRM fonctionnelle

Timo van Kerkoerle, Ghislaine Dehaene Lambertz, Stanislas Dehaene, Bechir Jarraya et coll.

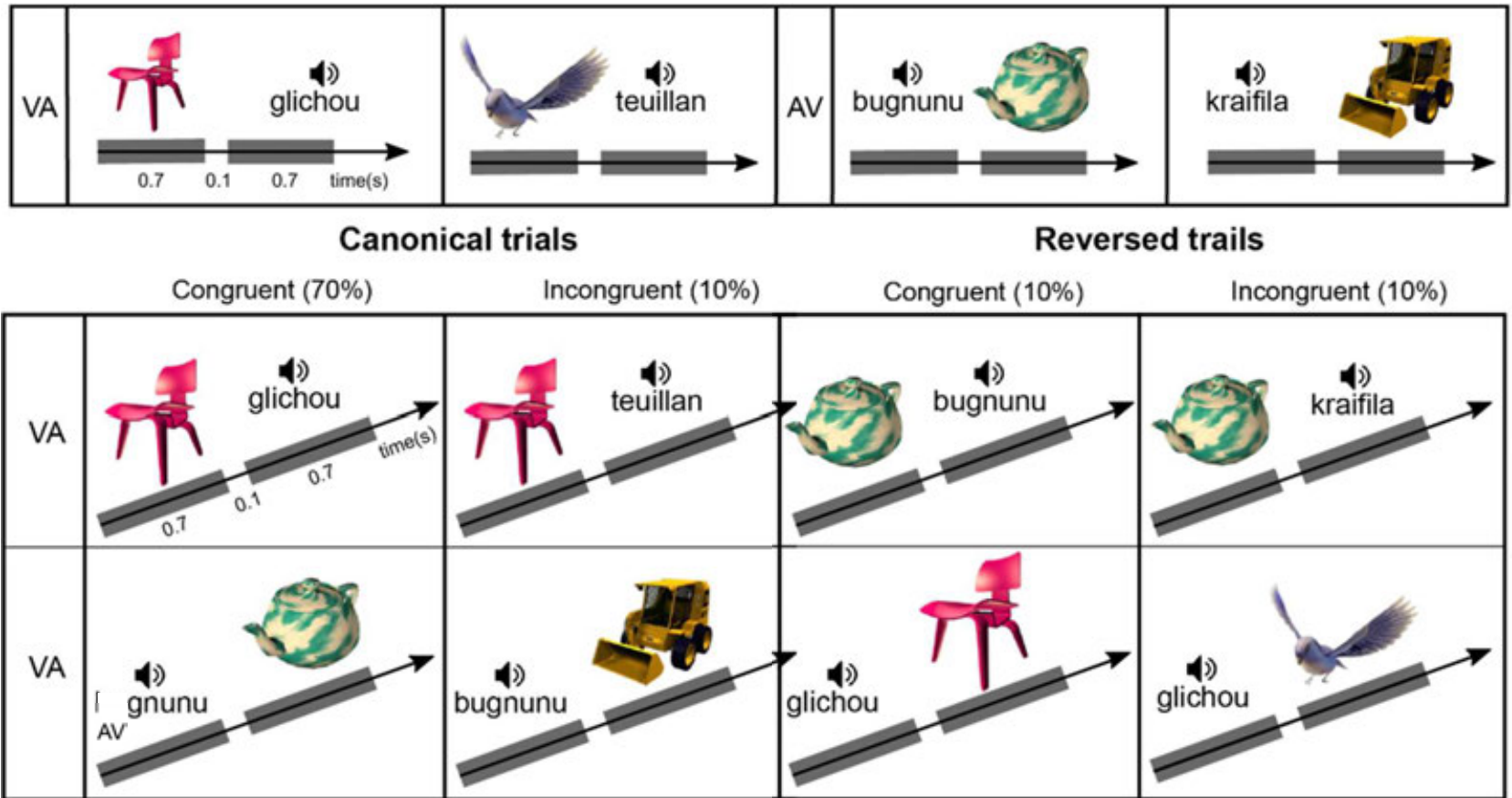
Quelles aires cérébrales sont responsables de l'association réversible symbole-objet?

Essais d'habituation: 100% dans une direction donnée

Pendant 3 jours, les humains et les singes reçoivent une vidéo d'entraînement avec 24 essais, toujours dans un ordre fixe.

Ensuite on scanne avec des essais en ordre canonique ou dans l'ordre inverse.

Les singes reçoivent deux semaines supplémentaires d'entraînement (~80 blocs) et 4 jours supplémentaires d'IRMf.



Stimulus set 1



glichou



bugnunu



kraifila



teuillan

Stimulus set 2



ephelant



insosie



daminet



calipon

Stimulus set 3



mush



keki



aprinte



aff

Stimulus set 4



zet



irk



oubou



rati

Stimulus set 5



jor



bab

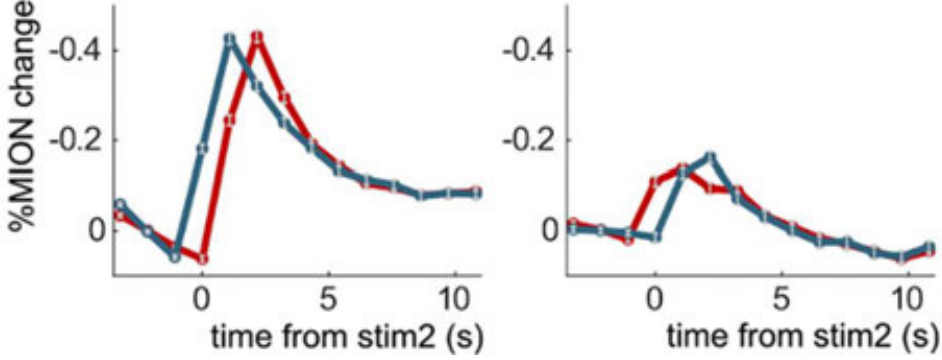
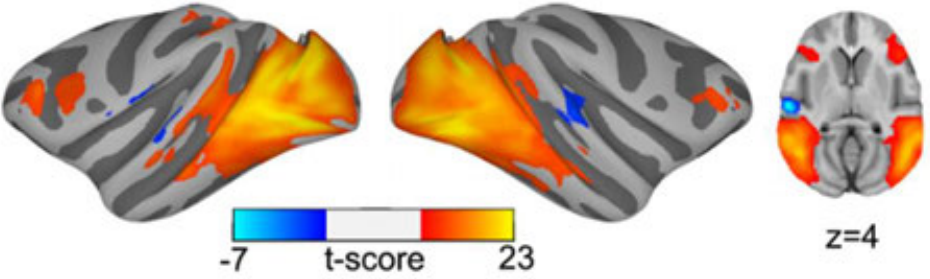
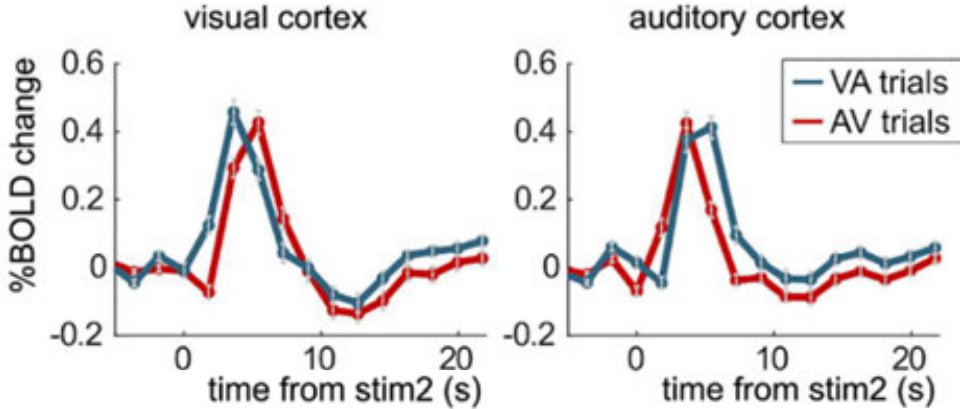
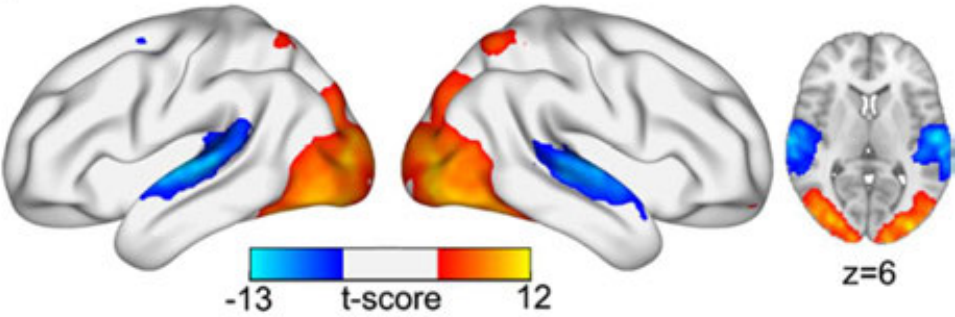


luto

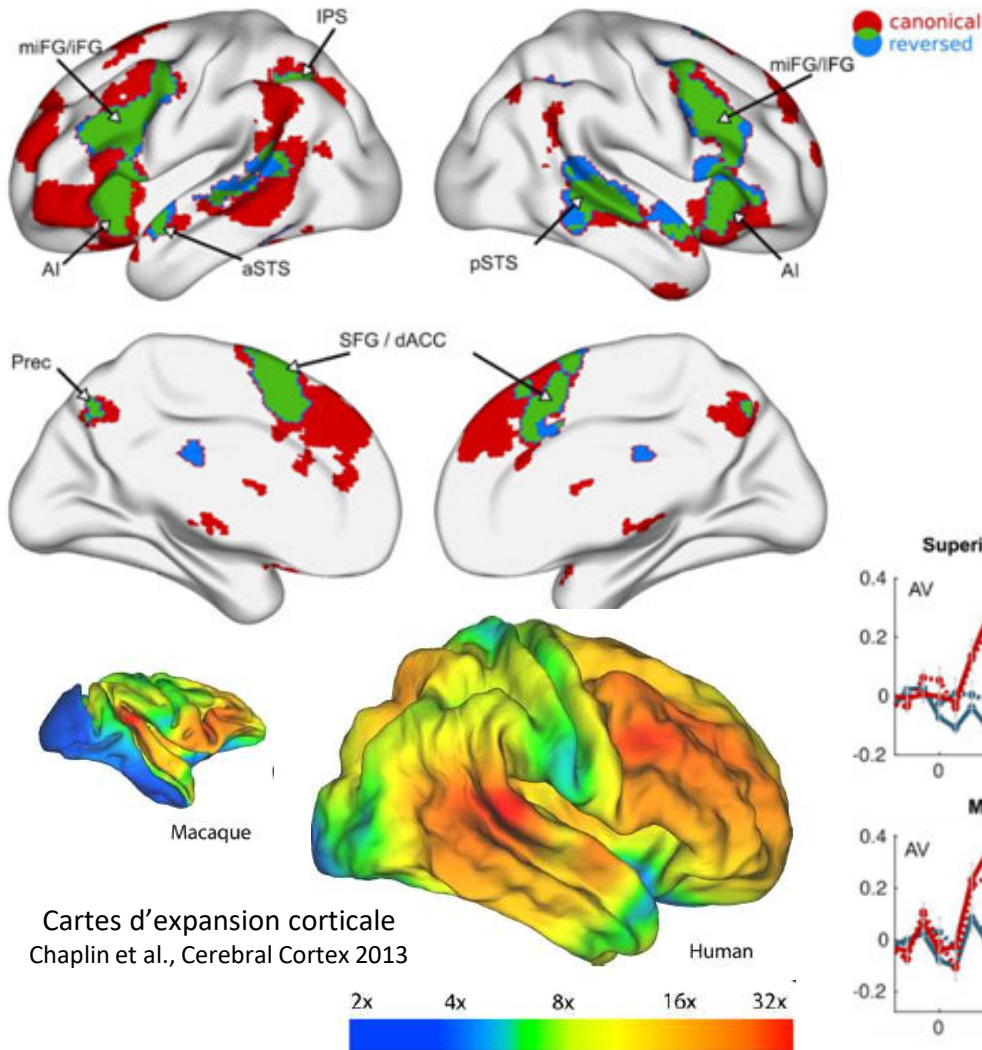


tagou

Un contrôle simple: l'existence de réponses visuelles et auditives bien ordonnées



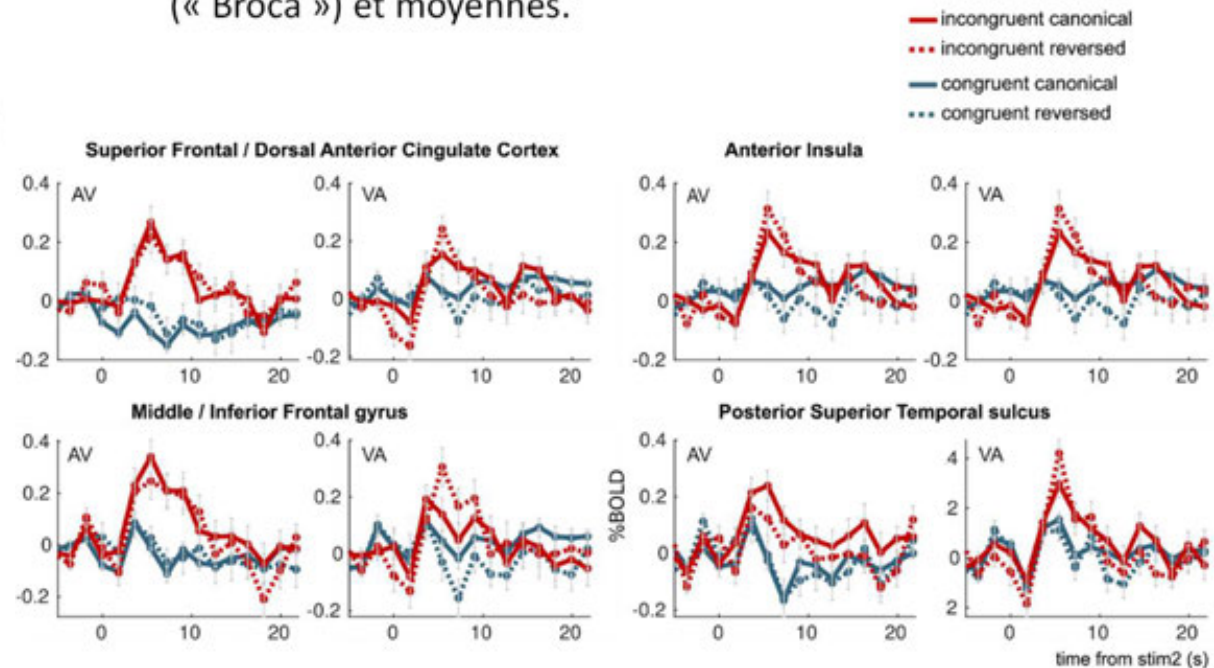
Chez l'homme, les associations symboliques sont immédiatement réversibles



On observe une réponse aux violations aussi bien dans l'ordre appris (canonique) que dans l'ordre inverse.

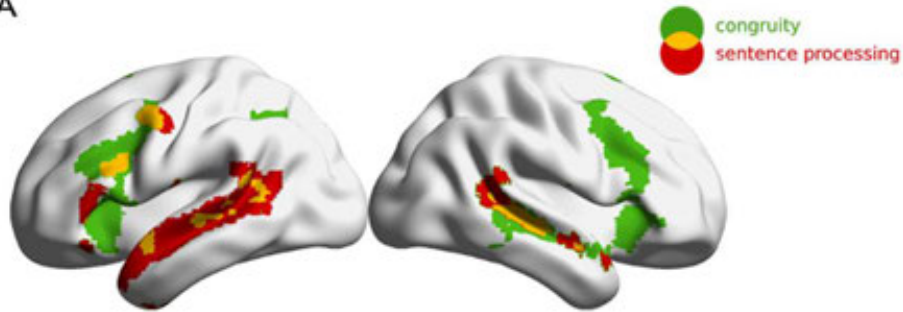
Il n'existe pas de région où l'association n'est pas réversible!
Et d'ailleurs les sujets ne se souviennent pas toujours de l'ordre.

Les régions qui répondent sont les aires préfrontales inférieures (« Broca ») et moyennes.



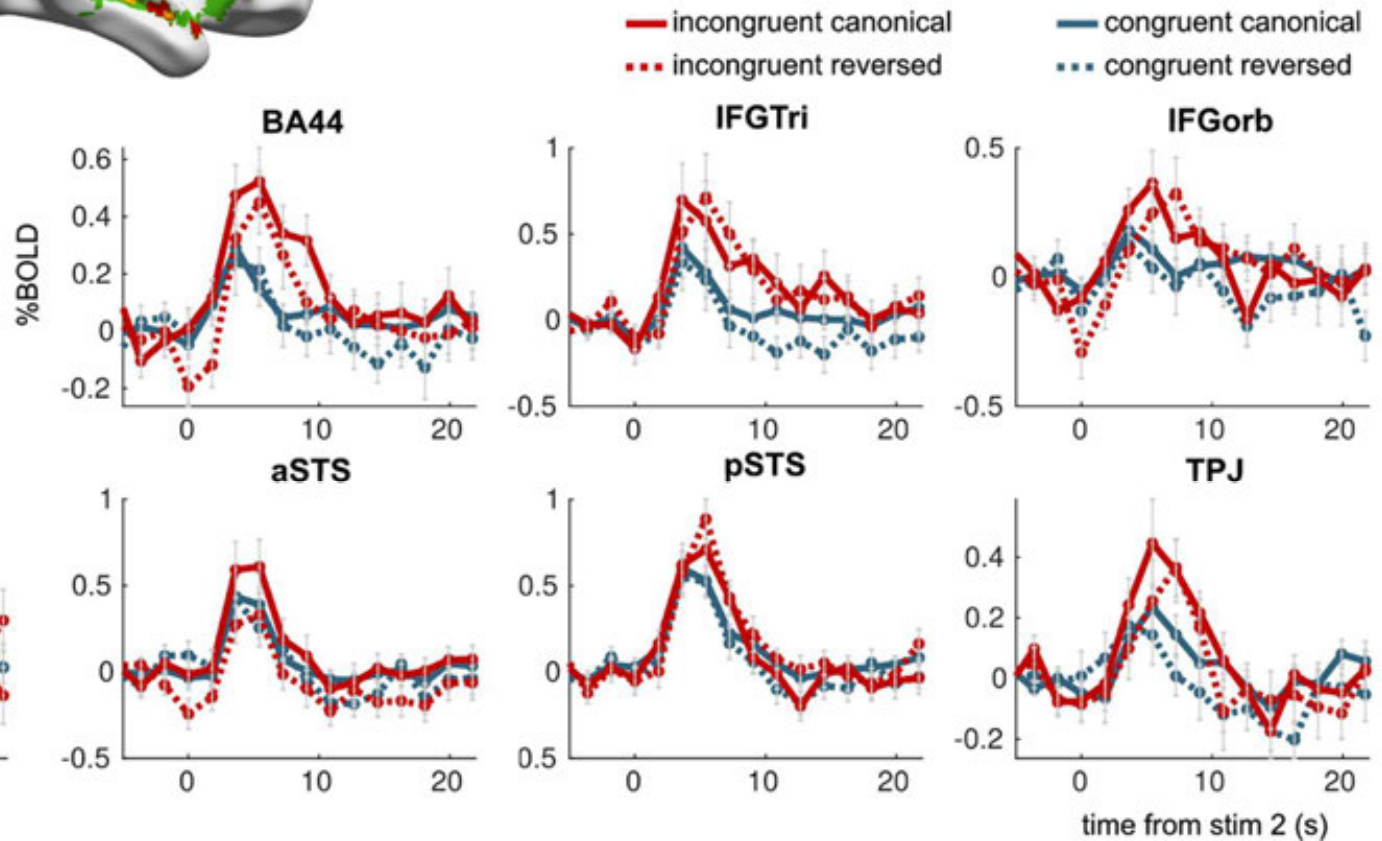
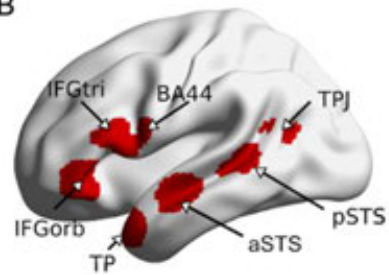
Chez l'homme, les associations symboliques sont immédiatement réversibles

A



On observe un important recouvrement avec les aires du langage dans l'hémisphère gauche.

B

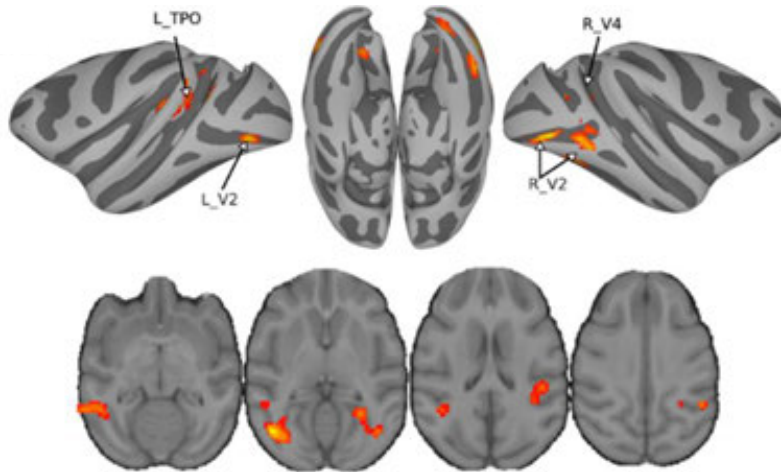


Chez le singe, aucune réversibilité n'est observée !

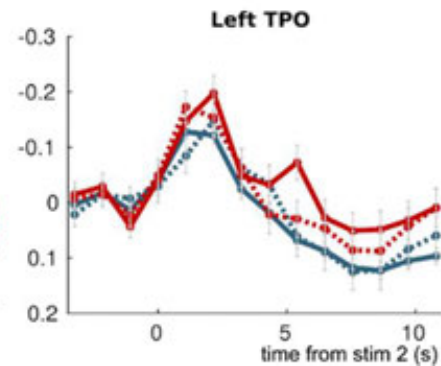
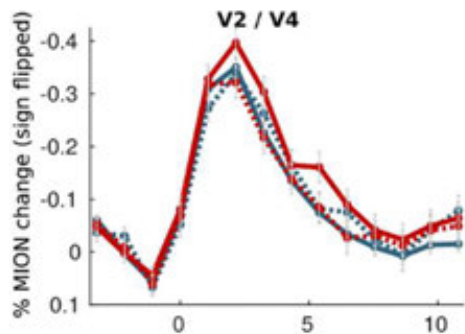
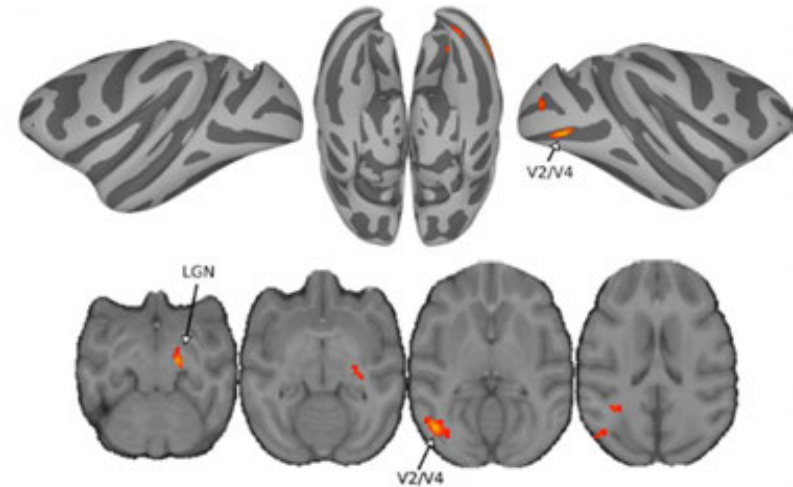
Aucune différence entre incongruent et congruent dans les essais inversés.

La réponse des aires sensorielles montre que les singes ont bien appris l'association, mais uniquement dans le sens canonique

Incongruent – congruent canonical



Interaction of congruity and canonicity



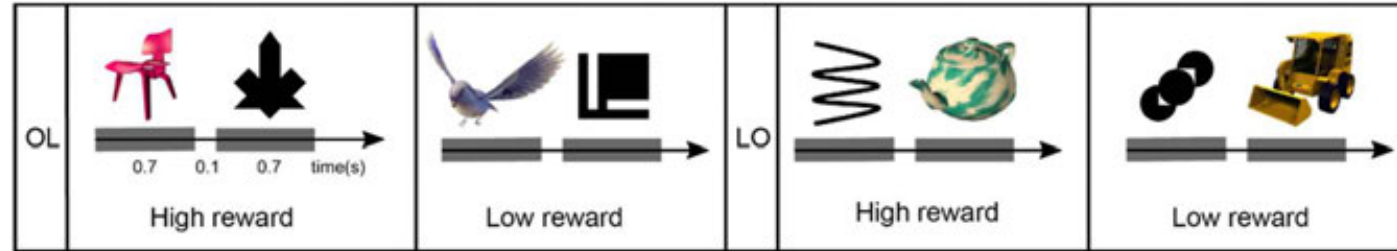
- incongruent canonical
- ... incongruent reversed
- congruent canonical
- ... congruent reversed

Réplication avec des symboles visuels

Plusieurs contrôles importants:

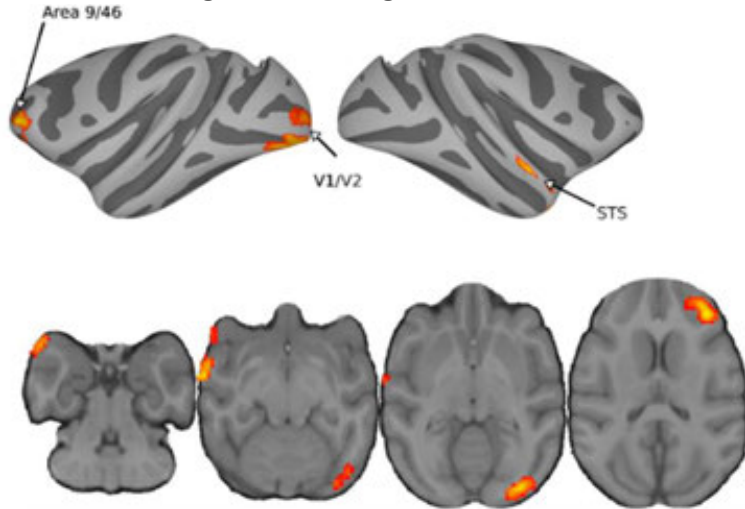
Les symboles visuels devraient être plus faciles à apprendre pour le singe. Le singe est incité à faire attention car certains symboles sont associés à une récompense plus importante.

On ne garde que les scans du premier jour (attention plus soutenue?)

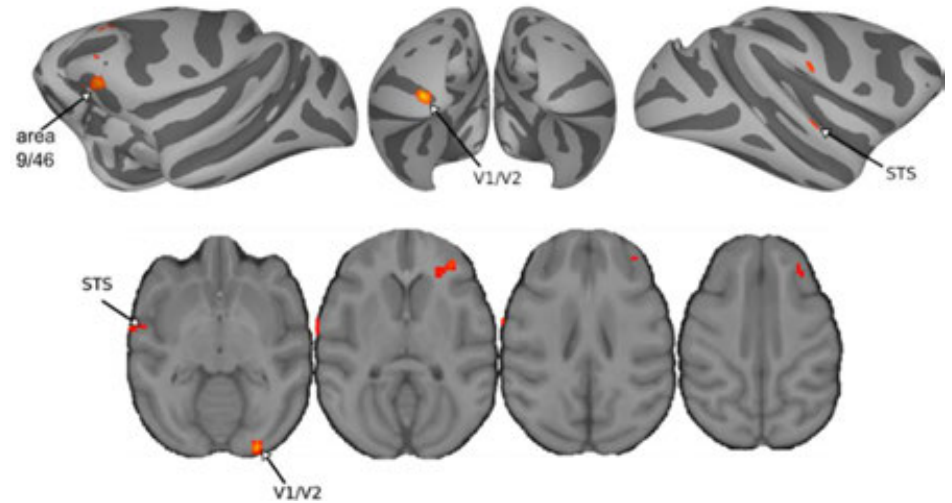


Toujours pas de réversibilité!

Incongruent – congruent canonical



Interaction of congruity and canonicity



Conclusion: les humains semblent prédisposés à acquérir rapidement des associations symboliques bidirectionnelles.

Qu'apporte la faculté de langage à l'espèce humaine?

Hypothèse: Seule l'espèce humaine possède:

- **Un système de liens symboliques**, arbitraires, bidirectionnels, entre signifiants et signifiés
- **Un système combinatoire** permettant de produire une infinité de phrases capables d'évoquer une infinité de sens.

Selon cette hypothèse, nous possédons les mêmes noyaux de connaissances (*core knowledge*) que d'autres espèces de primates: objets, personnes, couleurs, tailles, nombres, positions, etc.

Mais nous les recombinaisons en phrases dans un « langage de l'esprit », ce qui nous permet de former une pyramide infinie de concepts enchâssés.

Ce langage **interne** est universel -- tous les humains possèdent cette capacité et peuvent accéder aux mêmes concepts.

Cependant, l'espace conceptuel est tellement vaste que différentes cultures ne font pas les mêmes choix ou les mêmes découvertes.

Le rôle de la **communication linguistique** (la langue) pourrait être d'orienter l'attention vers certaines combinaisons qu'une culture donnée, avec l'expérience des générations, a jugé plus importantes que d'autres.

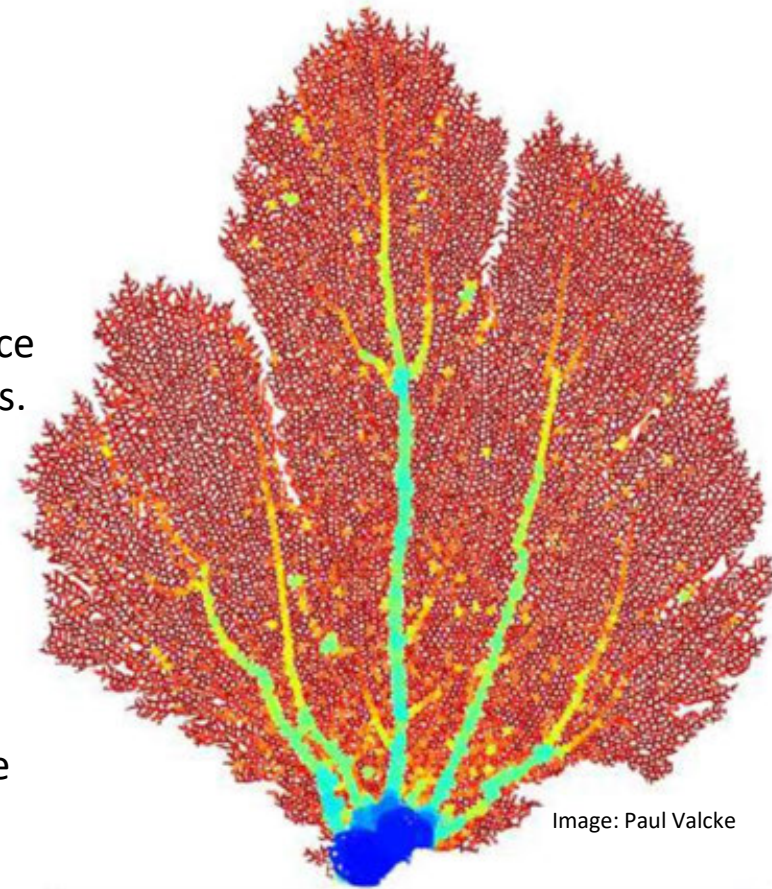
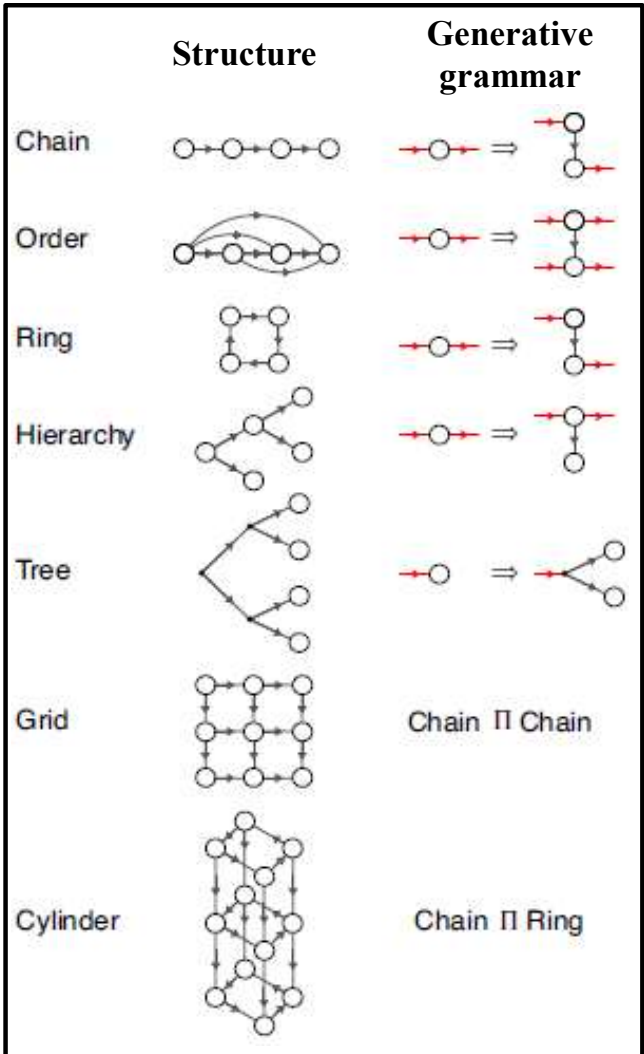
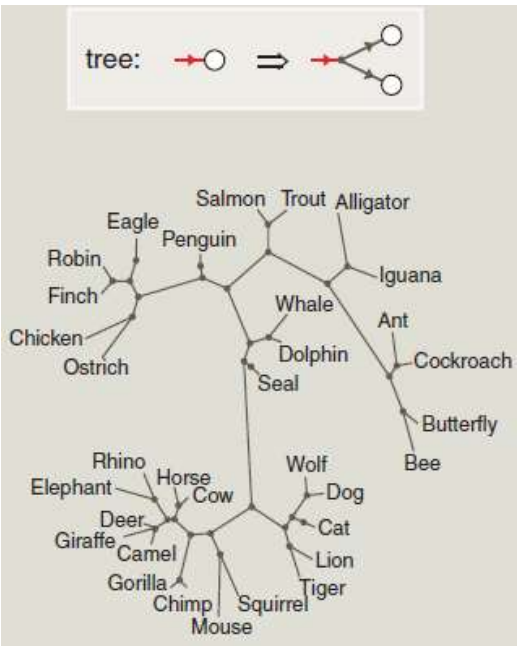


Image: Paul Valcke

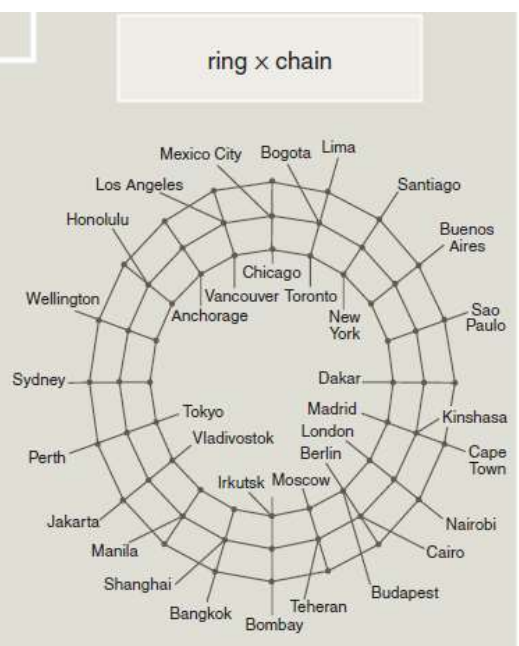
Le rôle crucial d'un « langage de la pensée » dans le développement conceptuel de l'espèce humaine



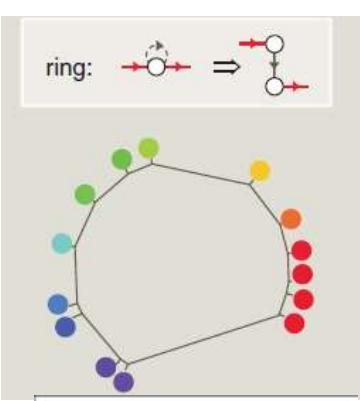
Découverte automatique de
l'arbre des espèces



la rotondité de la terre



Le cercle des couleurs



Dans notre espèce, l'apprentissage s'appuie sur la sélection Bayésienne d'expressions dans un **langage de la pensée**.

Kemp & Tenenbaum PNAS, 2008

Stanislas Dehaene
Apprendre !
Les talents du cerveau,
le défi des machines

Exemple
d'application:
Le concept de
forme
géométrique

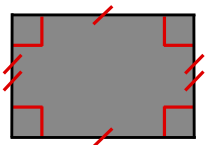


La perception des quadrilatères chez les primates humains et non-humains

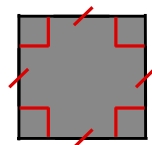
Thèse de Mathias Sablé-Meyer (article soumis)

Nous avons choisi 11 quadrilatères bien appariés.

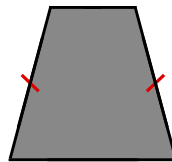
Rectangle



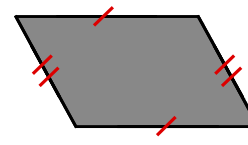
Square



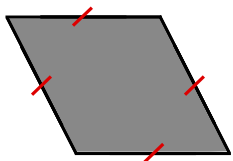
Iso-Trapezoid



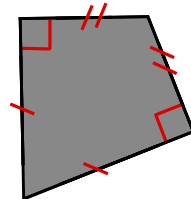
Parallelogram



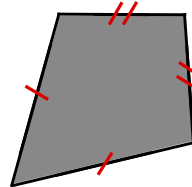
Rhombus



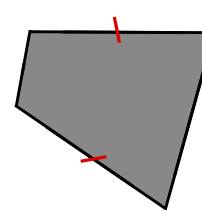
Right Kite



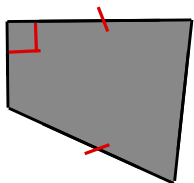
Kite



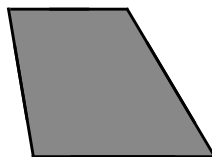
Hinge



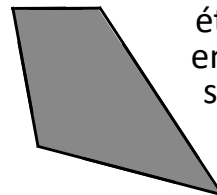
Right Hinge



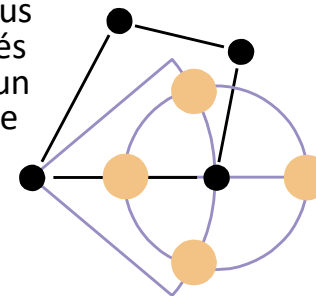
Trapezoid



Irregular

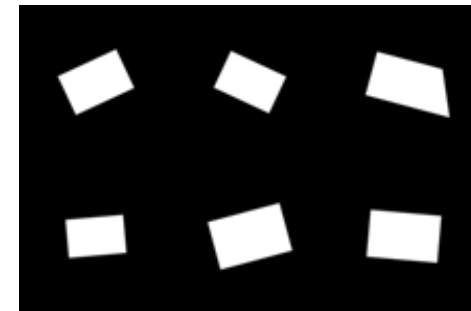


Pour chaque forme, les intrus étaient générés en déplaçant un sommet d'une quantité constante



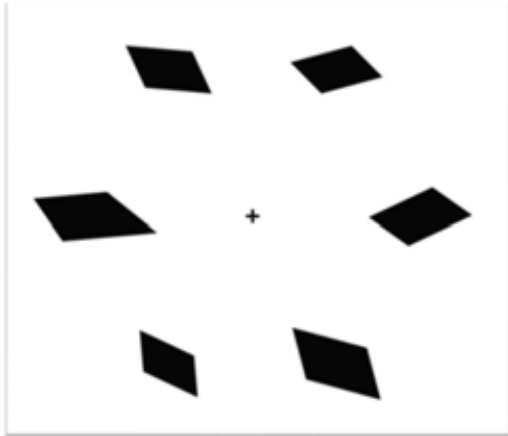
Mathias Sablé Meyer

Les sujets voyaient un écran dans lequel 5 formes étaient identiques (l'une des 11 formes de base) et ils devaient pointer vers la forme intruse.



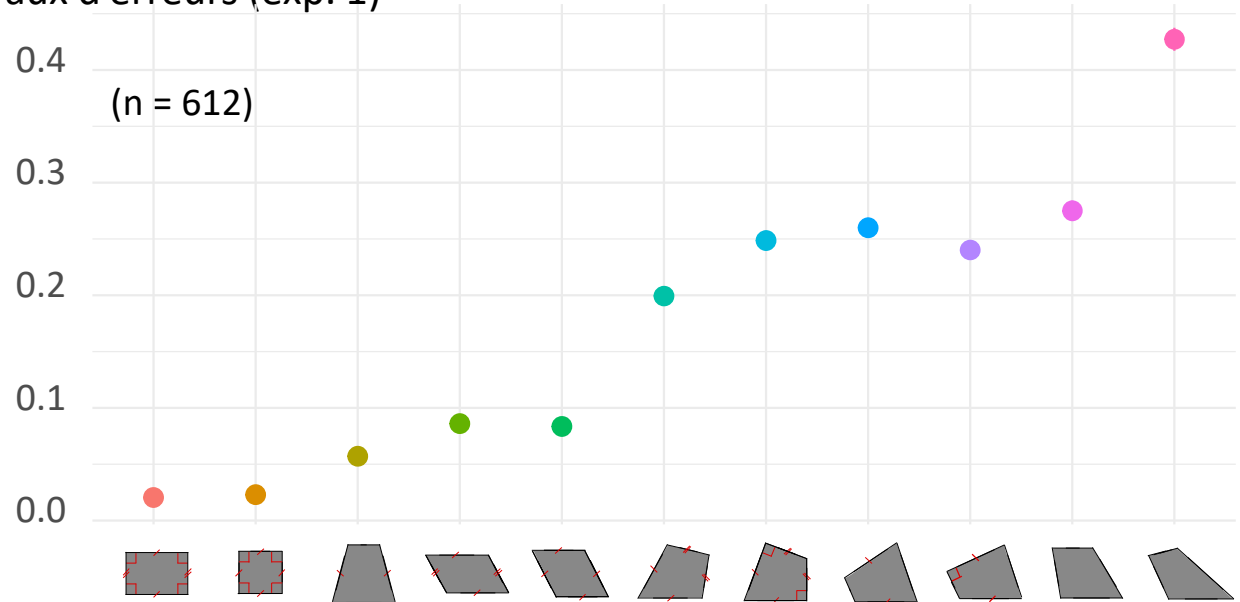
La régularité des formes affecte-t-elle cette tâche élémentaire?

Un effet majeur de la régularité des formes

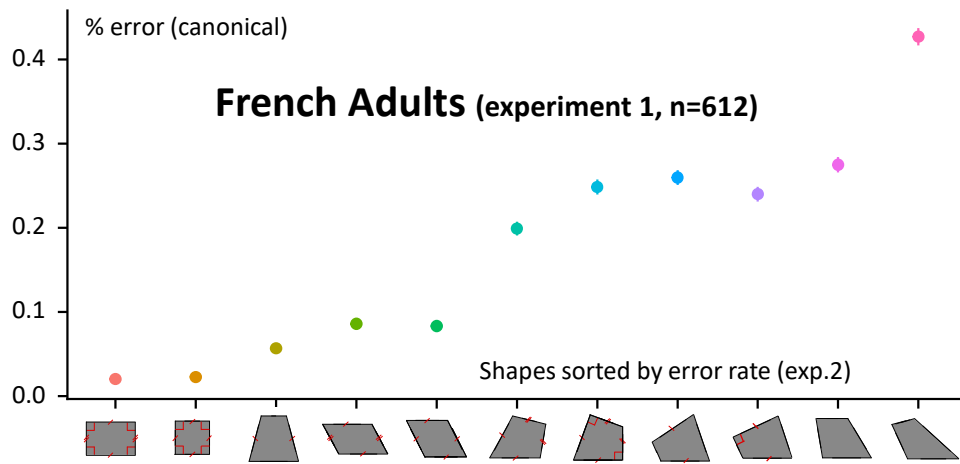


- La performance est toujours au dessus du hasard, mais varie massivement de 7% à 42% d'erreurs.
- Le temps de réponse suit la même courbe.
- La position, la rotation ou la taille des formes n'ont pratiquement pas d'influence sur les réponses.

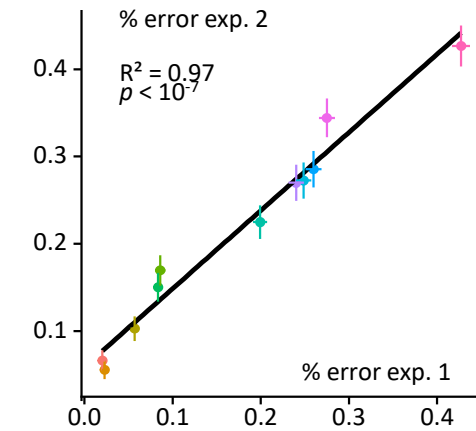
Taux d'erreurs (exp. 1)



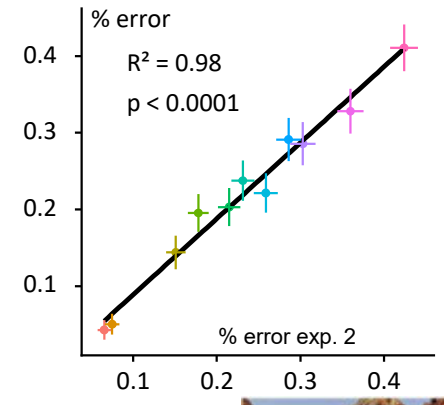
L'effet de régularité géométrique: un candidat à l'universalité



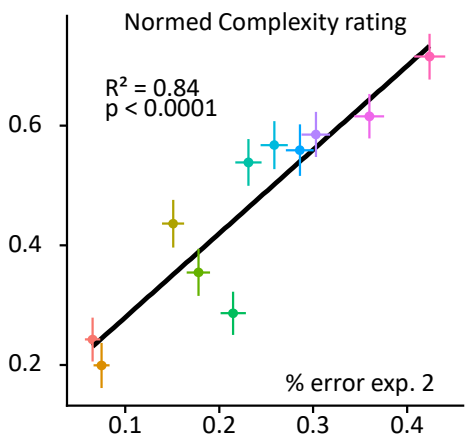
Replication (experiment 2, n=117)



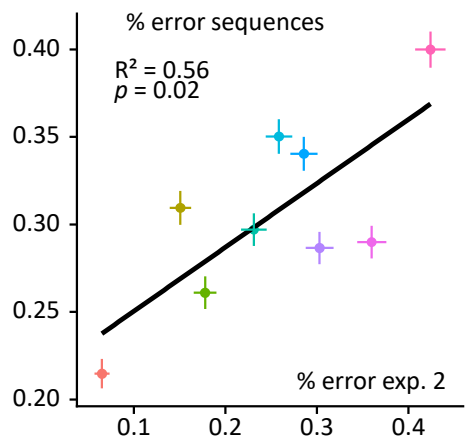
Visual Search (n=10)



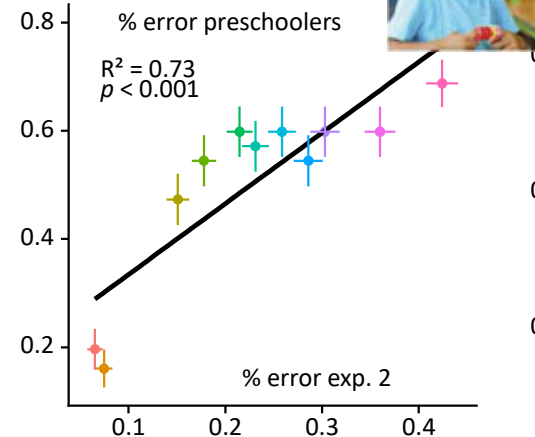
Subjective ratings (n=48)



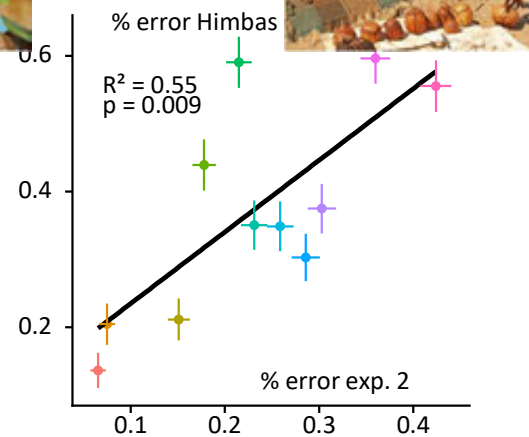
Sequence format (n=16)



Preschoolers (n=28)



Himba (n=22)

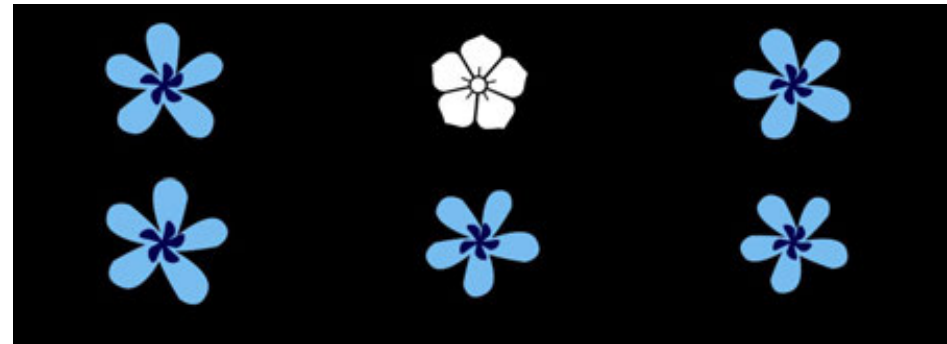


Les primates non-humains détectent-ils la régularité géométrique? Une étude chez le babouin (avec Joël Fagot)

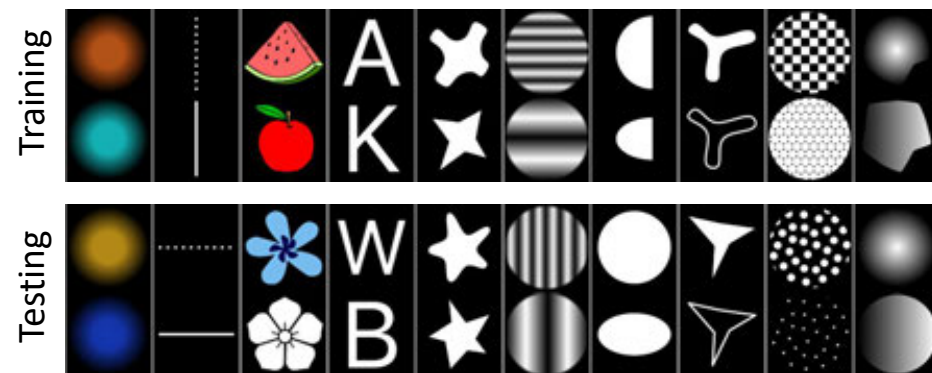
Prédiction: Les babouins ne devraient pas présenter d'effet.



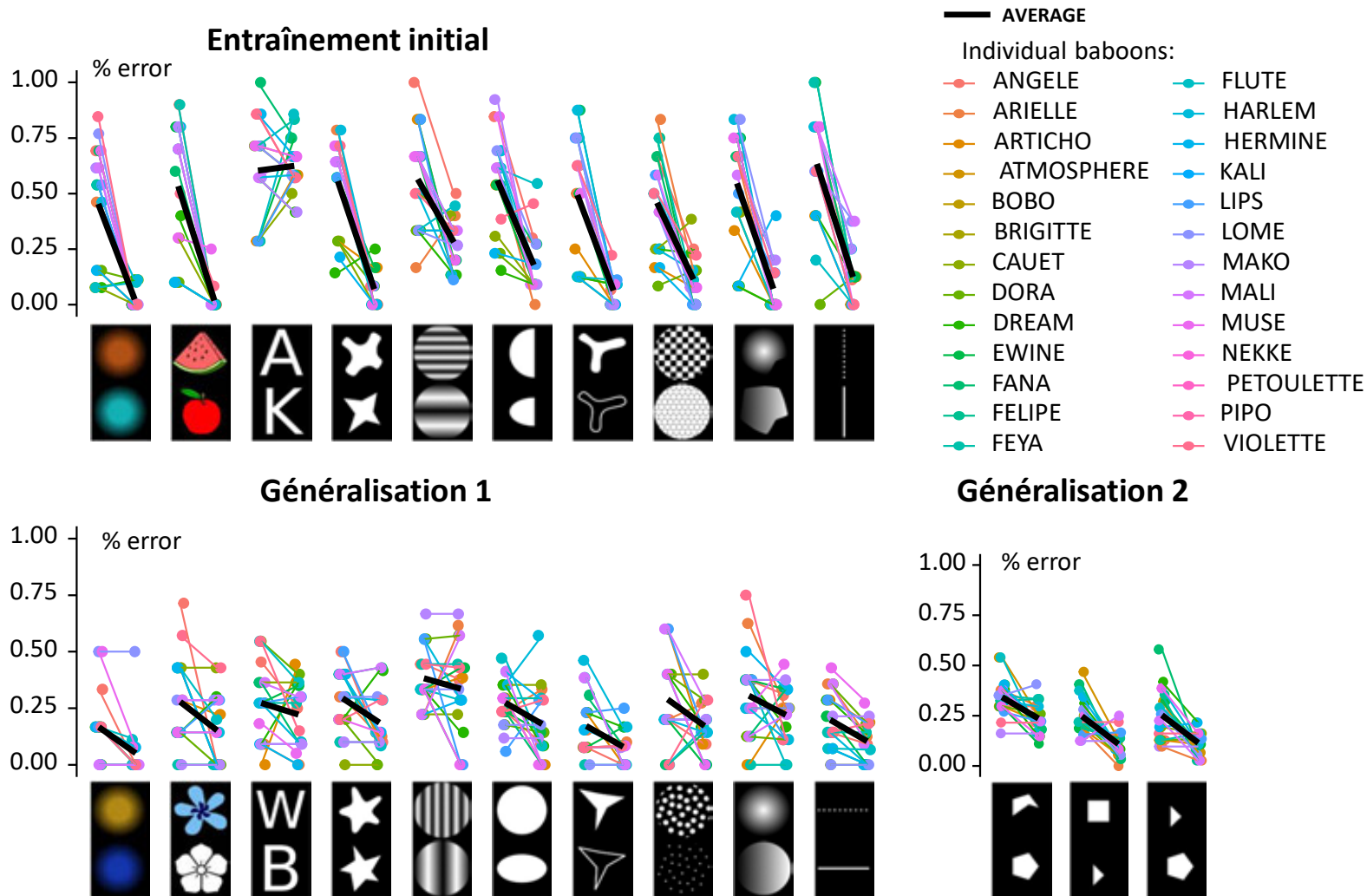
On entraîne d'abord les babouins à détecter les intrus parmi des images non-géométriques:



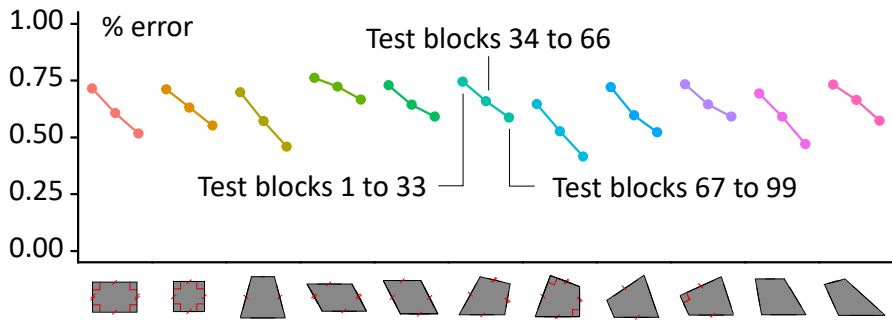
On vérifie qu'ils ont bien compris la tâche en testant la généralisation à des formes nouvelles:



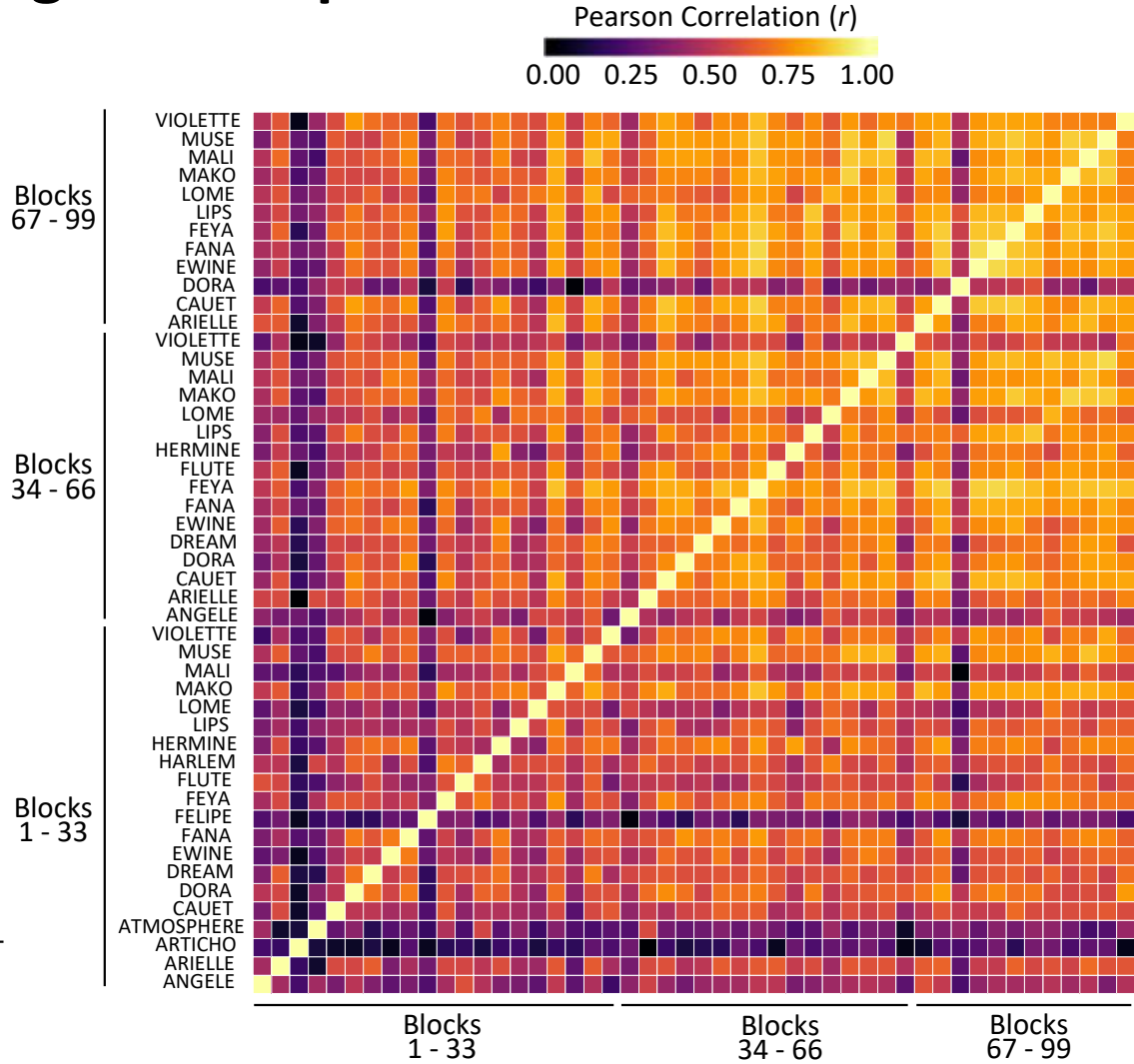
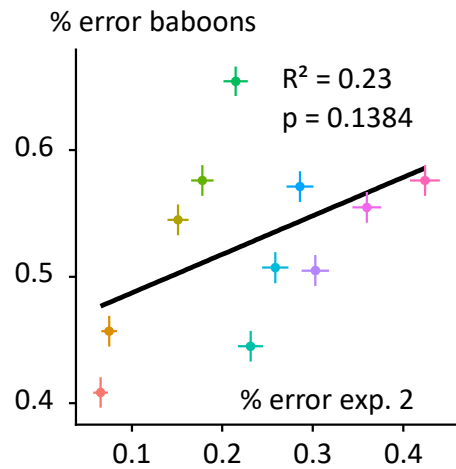
Les babouins apprennent facilement à détecter les intrus



Pas d'effet de régularité géométrique chez le babouin



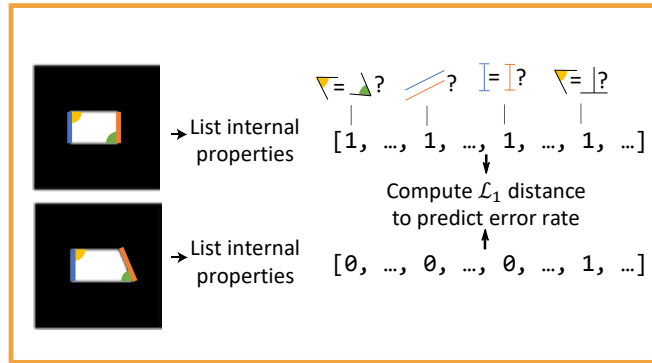
- Au début, les babouins sont pratiquement au niveau du hasard avec toutes les formes.
- Après 8800 trials, la performance s'améliore mais reste médiocre et décorrélée des résultats chez l'être humain.
- Cependant, les résultats sont corrélés entre babouins → quelle stratégie utilisent-ils?



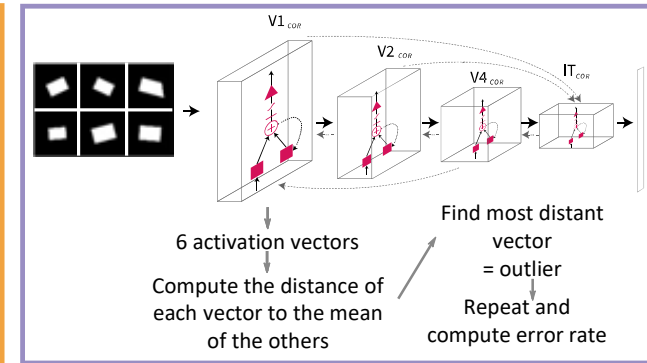
Double dissociation entre humains et babouins

- Le comportement des babouins est bien capturé par un modèle de réseau de neurones à convolution de la voie visuelle ventrale.
- Un modèle symbolique est requis pour modéliser le comportement humain.
- Les Himba et les enfants de maternelle utilisent un mélange des deux stratégies.

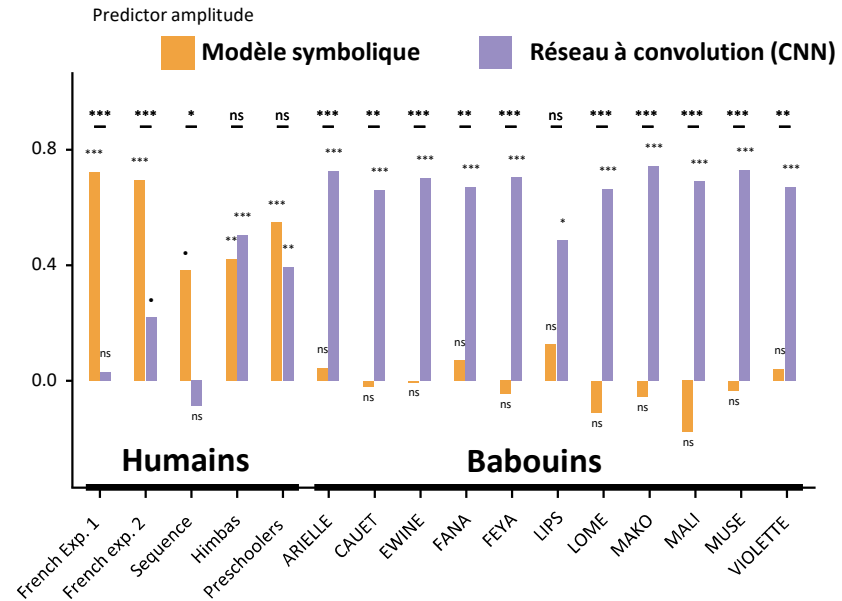
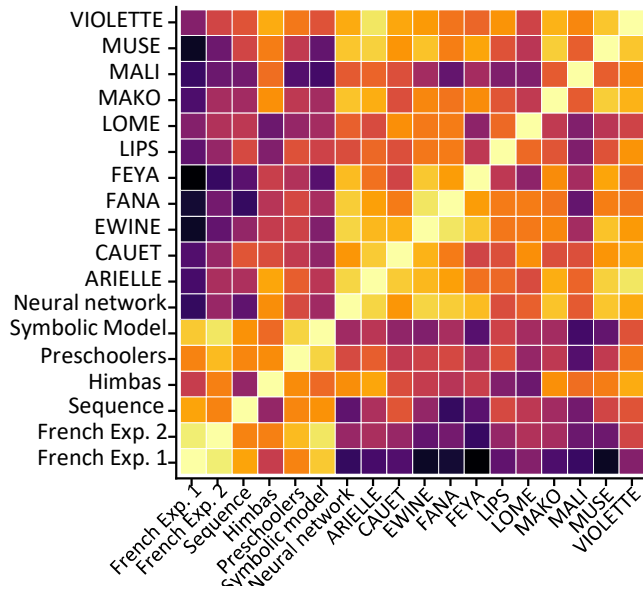
Modèle symbolique



Réseau à convolution (CNN)



Pearson Correlation (r) 0.00 0.25 0.50 0.75 1.00



L'expérience seule pourrait-elle expliquer les données?

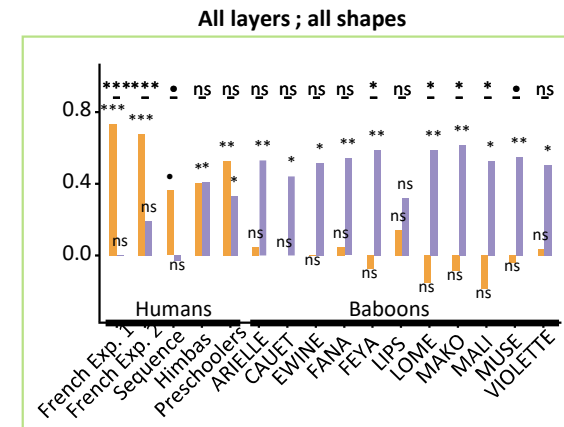
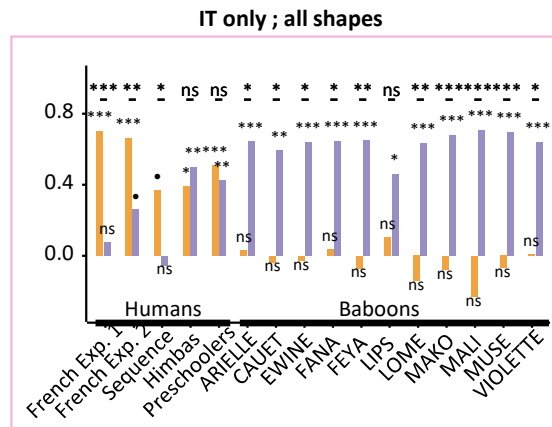
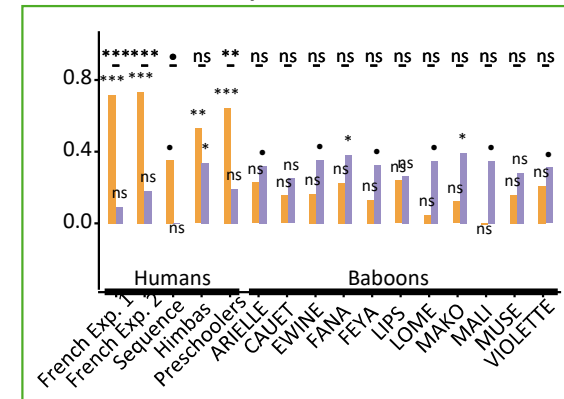
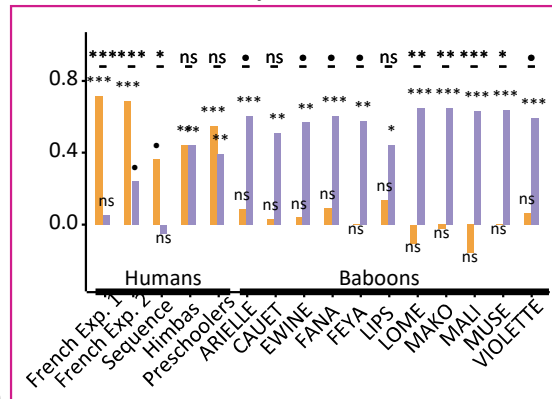
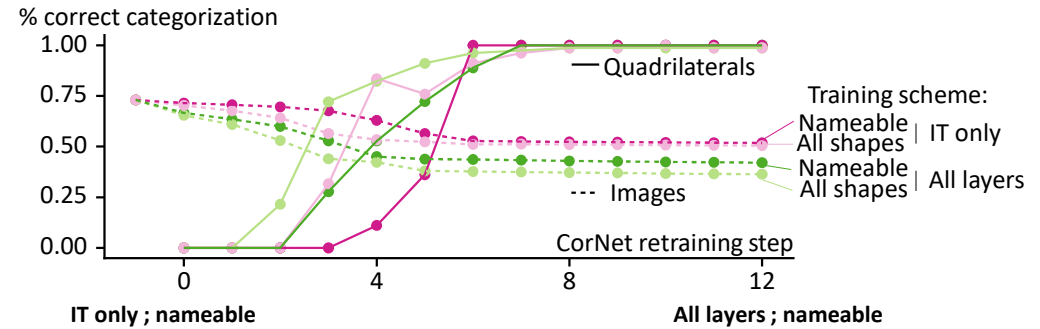
1. L'expérience d'un "monde charpenté"? Non

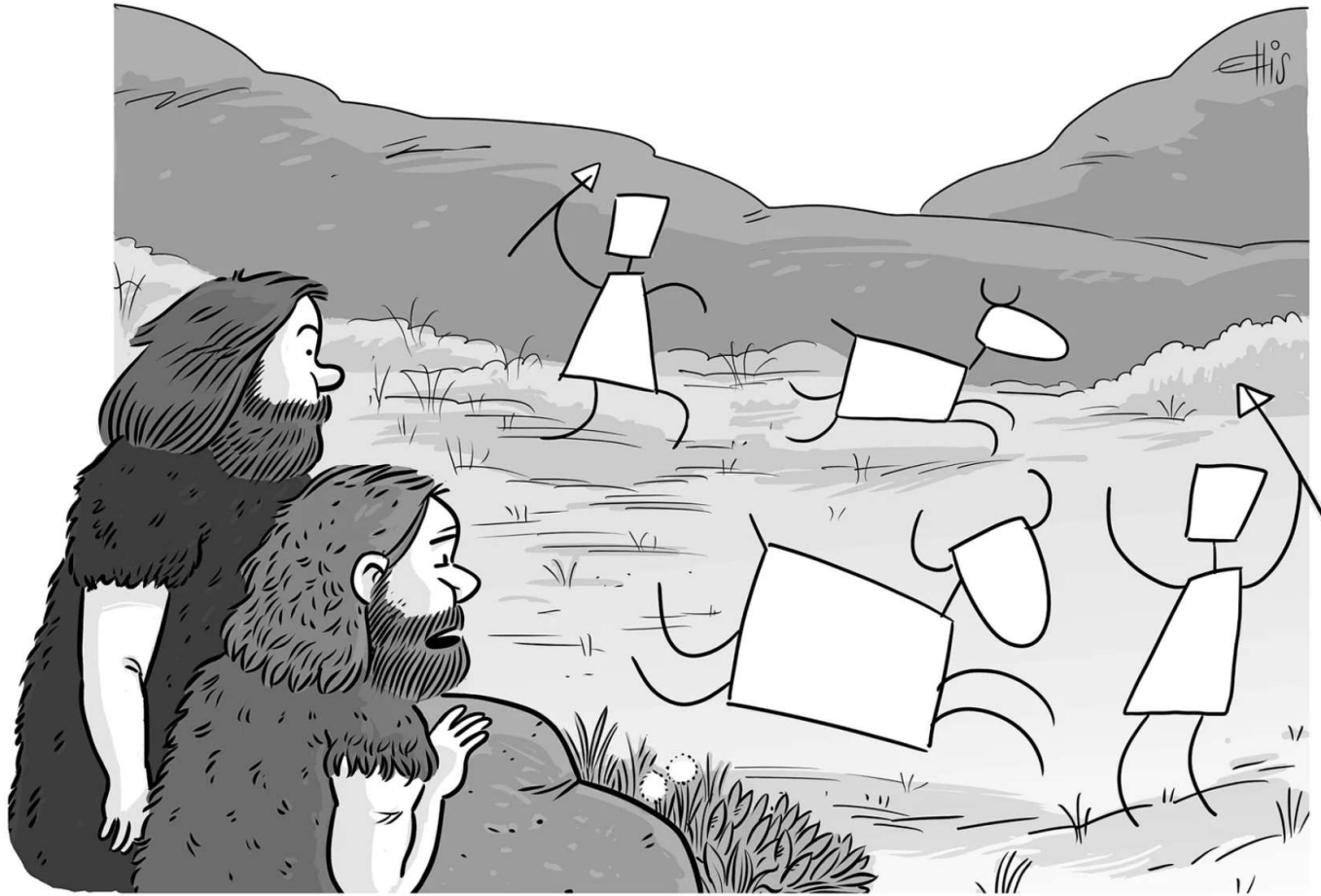
Les babouins vivent dans un monde plus « charpenté » que celui des Himbas, et pourtant ils ne montrent pas d'effet de régularité géométrique.



2. L'entraînement avec des formes géométriques? Non

- Les babouins ont reçu des milliers d'essais d'entraînement, cela ne suffit pas
 - Les réseaux peuvent également être réentraînés à étiqueter les formes géométriques
- Soit toutes les 11 formes, soit juste celle qui ont un nom; et soit en mettant à jour tout le réseau, ou juste la dernière couche (IT seulement)
- Le réseau parvient à étiqueter 100% de formes nouvelles, mais cela ne change rien à ses prédictions.





« on devrait garder une trace de ça, sinon personne ne nous croira » !



Conclusion: Langage, pensée mathématique, et universalité cross-culturelle

1. Tous les humains, quels que soient leur langue et leur culture, partagent:
Le même **noyau de concepts fondamentaux** hérités de l'évolution

Le même **langage de la pensée** qui

- **Discrétise** les concepts :
notions de nombre exact, de droite, de longueur, d'angle...
- **Combine** ces éléments de façon récursive

2. Tous les humains partagent la même notion de simplicité mathématique:

Un concept simple correspond à une expression courte (même si des cultures différentes peuvent privilégier telle ou telle partie de l'arbre des concepts)

Cela peut expliquer la convergence cross-culturelle vers les mêmes formes et les mêmes objets mathématiques.

3. Au cours de l'hominisation, notre architecture cérébrale a probablement changé afin de faciliter l'acquisition de **langages récurifs** – pas seulement dans les aires du langage, mais dans de nombreux réseaux

4. Même les facultés humaines les plus simples (la reconnaissance d'un carré!) ne sont pas bien modélisées par les réseaux de neurones actuels.

