



dans les processus de différenciation cellulaire. Les données obtenues avec la puce hybride ont ensuite été validées par *northern-blotting* et RT-PCR (*reverse-transcriptase polymerase chain reaction*) quantitative.

L'incorporation progressive de marqueurs correspondant à des ARNc dans les outils diagnostiques en clinique devrait permettre d'affiner le pronostic et l'évolution de nombreuses pathologies. Plus le nombre de biomarqueurs identifiés de ce type sera important, plus les diagnostics gagneront en précision. Ce type d'analyse pourrait, à terme, être réalisé en ayant recours à des puces hybrides ADN/LNA, permettant aussi bien l'analyse de très grands ARN structurés (ARN BC200 et

maladie d'Alzheimer) que de très petits ARN (miARN et cancer), simultanément et à un moindre coût, ce d'autant que les quantités de matériel nécessaires pour ce type d'approche sont compatibles avec les références actuelles en diagnostic clinique. ♦

A hybrid microarray for the analysis of a miscellaneous ncRNA population

LIENS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

RÉFÉRENCES

1. Rederstorff M. Une approche originale de sélection de nouveaux ARN non codants. *Med Sci (Paris)* 2011 ; 27 : 343-5.
2. Jordan B. Chroniques génomiques : séquençage de nouvelle génération : déjà en clinique ? *Med Sci (Paris)* 2011 ; 27 : 1127-30.

3. Jordan B. Is there a niche for DNA microarrays in molecular diagnostics? *Expert Rev Mol Diagn* 2010 ; 10 : 875-82.
4. Marioni JC, Mason CE, Mane SM, et al. RNA-seq: an assessment of technical reproducibility and comparison with gene expression arrays. *Genome Res* 2008 ; 18 : 1509-17.
5. Willenbrock H, Salomon J, Sokilde R, et al. Quantitative miRNA expression analysis: comparing microarrays with next-generation sequencing. *RNA* 2009 ; 15 : 2028-34.
6. Hutzinger R, Mrazek J, Vorwerk S, Huttenhofer A. ncRNA-microchip analysis: A novel approach to identify differential expression of noncoding RNAs. *RNA Biol* 2010 ; 7 : 586-95.
7. Skreka K, Zywicki M, Karbiener M, et al. Expression profiling of a heterogeneous population of ncRNAs employing a mixed DNA/LNA microarray. *J Nucleic Acids* 2012 ; 2012 : 283560.

NOUVELLE



L'orthographe à la portée des babouins

Marie Montant, Jonathan Grainger, Stéphane Dufau, Johannes C. Ziegler, Joël Fagot



Laboratoire de psychologie cognitive, CNRS et Aix-Marseille Université, 3, place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France. marie.montant@univ-amu.fr

> Depuis qu'*Homo sapiens* est un sujet d'étude scientifique, une question revient périodiquement sur le devant de la scène : notre espèce est-elle unique ? Et si oui, sur quel plan ? Plusieurs caractéristiques sont en général débattues, parmi lesquelles la bipédie, la taille de l'encéphale, l'usage des outils, et le langage. Depuis la publication des travaux de l'influent linguiste Noam Chomsky [1], le langage est présenté comme une capacité spécifiquement humaine, fondamentalement différente de la communication animale. Inutile de rechercher chez les primates non humains l'existence de précurseurs, de briques élémentaires sur lesquelles cette capacité se serait développée dans notre lignée. C'est pourtant ce à quoi se sont

attelés quelques chercheurs à travers le monde : tenter de montrer que le langage



© Joël Fagot

humain, comme toutes les fonctions cognitives de notre espèce, est le produit de l'évolution et partage certains de ses

composants avec les autres animaux. Parce que le langage est apparu tardivement au cours de l'évolution humaine, cette fonction pourrait s'être développée en « colonisant » des composants cérébraux et cognitifs déjà en place. C'est l'hypothèse du *neural re-use* [2] : par exemple, la réutilisation des aires cérébrales en charge des émotions pour traiter les mots à forte valence émotionnelle [3], ou encore la réutilisation des zones motrices du cerveau pour traiter les verbes d'action [4]. Ces régions cérébrales et leurs fonctions - qui ne sont pas spécifiquement linguistiques - sont partagées par un grand nombre de primates non humains, de mammifères et d'oiseaux. Plus surprenant encore, ce partage concerne également des fonctions que l'on croyait uniquement humaines parce que rattachées au langage, comme

Vignette de l'article. Illustration : © CNRS/LPC/Stéphane Dufau - Photographie : © CNRS Photothèque/ Cyril Fressillon.

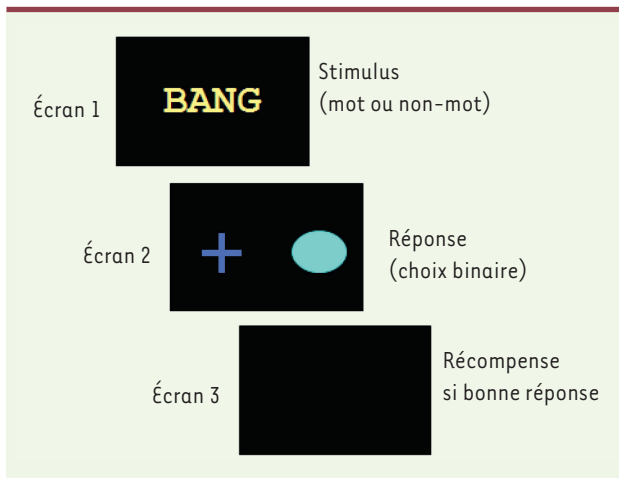


Figure 1. Succession des écrans présentés aux babouins lors d'un essai.

la perception catégorielle des phonèmes ou la perception de la prosodie.

Perception des phonèmes et de la prosodie chez les primates non humains

Les phonèmes correspondent aux sons élémentaires de la parole (par exemple /B/ et /O/ dans le mot BEAU). La perception catégorielle des phonèmes nous permet de distinguer des syllabes similaires sur le plan acoustique (BO et PO), mais aussi de reconnaître un phonème quel que soit le timbre du locuteur ou son accent. Si l'on présente à des chimpanzés un continuum de syllabes allant du /DA/ au /TA/, les rongeurs se comportent comme des sujets humains : ils perçoivent ces syllabes intermédiaires de manière binaire, catégorielle (ils entendent soit DA, soit TA) et placent la frontière phonétique¹ entre ces deux catégories de sons au même endroit que les humains [5]. Conclusion : les aspects phonétiques de la perception de la parole procèdent de mécanismes généraux que l'on trouve dans plusieurs lignées animales.

La perception de la prosodie d'une langue relève-t-elle de mécanismes

les singes tamarins, comme les bébés humains, sont sensibles aux contours prosodiques des langues : ils perçoivent la différence entre le japonais et le néerlandais. Si l'enregistrement des phrases est joué à l'envers, la prosodie est altérée et les tamarins, comme les bébés, ne distinguent plus ces deux langues. La perception de la prosodie n'est donc pas le monopole de notre espèce.

Développement d'un sens de l'orthographe chez les babouins

Jusqu'ici, les chercheurs s'étaient concentrés sur les briques élémentaires de la parole. Personne n'avait eu l'idée de s'attaquer à la lecture, pour la très bonne raison que cette faculté est culturelle : l'obligation scolaire ne s'est répandue dans les sociétés occidentales qu'au cours des deux derniers siècles, et l'écrit n'existe pas dans bon nombre de sociétés humaines. La sélection naturelle ne pouvant pas exercer ses effets sur quelques centaines d'années chez une espèce comme la nôtre, la lecture n'est pas le produit de l'évolution. Cependant, pour lire, nous utilisons des ressources cérébrales. Il se peut qu'au cours du développement de l'enfant, la lecture se greffe sur des composants cérébraux et cognitifs déjà en place et partagés par les autres primates. Si tel est le cas, les primates non humains devraient être capables de reproduire

similaires ? La prosodie regroupe l'ensemble des variations mélodiques d'une phrase (rythme, intonation, accent tonique, silence) et donne des informations d'ordre syntaxique et sémantique qui facilitent la compréhension orale des phrases. Ramus et ses collaborateurs [6] ont montré que

une partie des opérations cognitives réalisées par les humains pendant la lecture.

Dans la présente étude, nous nous sommes focalisés sur le traitement orthographique au cours de la lecture de mots isolés. L'orthographe est ici définie comme l'identité des lettres et leurs positions relatives au sein d'un mot [7]. Selon la théorie dominante, cette capacité est dérivée de la parole : apprendre l'orthographe - pour les enfants - consiste à associer les lettres écrites aux sons de la langue qu'ils pratiquent déjà oralement depuis plusieurs années. La maîtrise du langage oral est donc de facto un prérequis à l'apprentissage de la lecture. Mais ce prérequis est-il indispensable ? Nous avons entraîné six babouins à distinguer des mots anglais (par exemple, BANG) de chaînes de lettres sans signification (KANG), que nous appelons des non-mots. S'il est nécessaire de connaître les sons de la langue parlée pour apprendre l'orthographe, les babouins ne devraient pas être capables de distinguer mots et non-mots. Contre toute attente, ils y arrivent [8].

Pour réaliser cette expérience, nous avons sélectionné dans une base de données linguistiques 500 mots anglais de quatre lettres, puis nous avons créé 7 832 non-mots possédant les mêmes lettres que les mots aux mêmes positions. Par exemple, si la lettre B apparaissait en première position dans un grand nombre de mots, elle apparaissait à la même position dans autant de non-mots. En revanche, dans les mots, certaines paires de lettres (comme B suivi de A) revenaient souvent et d'autres quasiment jamais (K suivi de A), tandis que ces combinaisons rares étaient plus fréquentes dans les non-mots. Dans cette expérience, la différence entre mots et non-mots reposait donc sur la fréquence d'occurrence des combinaisons de lettres.

Les six babouins de notre étude font partie d'un groupe social d'une trentaine d'individus installés au centre de prima-

¹ Le continuum entre DA et TA est fabriqué en augmentant linéairement la durée entre la prononciation de la consonne et celle de la voyelle. Quand cette durée est courte, on perçoit un DA, quand elle est longue, on perçoit un TA. Le passage du DA au TA (la frontière perceptive) se situe à 35 ms.

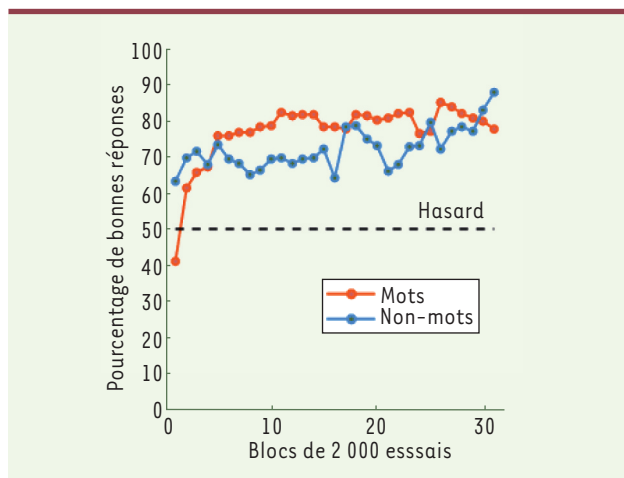


Figure 2. Courbes d'apprentissage des babouins dans la tâche de discrimination mots/non-mots.

tologie du CNRS de Rousset-sur-Arc. Ces animaux sont entraînés à utiliser des écrans tactiles en libre accès, disposés en bordure de leur enclos [9]. Leur tâche consistait à appuyer sur un cercle à droite de l'écran quand un mot leur était présenté, et sur une croix à gauche de l'écran quand un non-mot apparaissait (Figure 1). Ils recevaient une récompense (un grain de céréale) pour chaque bonne réponse et devaient attendre trois secondes avant le prochain essai en cas d'erreur. Chaque session comportait 100 essais, au cours desquels 50 mots et 50 non-mots étaient présentés dans un ordre aléatoire. Tout au long de l'expérience, les mots ont été introduits un à un au fil des sessions. Par conséquent, au cours de la première session, le même mot a été répété 50 fois. Ainsi, pour les singes, la réponse mot correspondait aux chaînes de lettres fréquemment répétées. En quelques jours, les singes ont atteint un taux de réussite proche de 75 % (Figure 2). Dan, notre meilleur élève, a appris 308 mots en un mois et demi d'entraînement. Il n'a pas atteint

les babouins ont développé un sens de l'orthographe.

Ce sens de l'orthographe se manifeste également dans leurs scores pour les non-mots. Les singes se trompaient de réponse plus souvent avec les non-mots orthographiquement proches des mots, c'est-à-dire qui ne différaient des mots que d'une lettre (par exemple le non-mot TANG par rapport au mot BANG), qu'avec les non-mots qui se distinguaient des mots par plusieurs lettres (TARG/BANG). Cette sensibilité à la distance orthographique se retrouve de la même façon chez les humains.

Ces résultats montrent qu'il n'est pas nécessaire de connaître les phonèmes d'une langue pour accéder au code orthographique de celle-ci. Les babouins, qui ne connaissent pas les règles d'association entre lettres et phonèmes sont pourtant capables de distinguer mots et non-mots. Nous pensons qu'ils parviennent à réaliser cette tâche grâce à un mécanisme que l'on trouve chez un grand nombre d'espèces animales (dont *Homo*

sapiens) : l'apprentissage statistique. À force d'entraînement, les babouins sont capables d'extraire la structure interne, les régularités orthographiques qui caractérisent les mots. Statistiquement, la chaîne de lettres « BANG » est un mot parce que les différentes combinaisons de lettres qui le composent ont été vues un grand nombre de fois sur l'ensemble des mots présentés. Cet apprentissage statistique est probablement l'une des briques élémentaires essentielles à la construction du langage humain, que nous partageons avec les primates non humains. ♦

Orthographic processing in baboons

LIENS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

RÉFÉRENCES

1. Chomsky N. *Language and mind*. Cambridge : Cambridge University Press, 1968.
2. Anderson M. Neural reuse: a fundamental organizational principle of the brain. *Behav Brain Sci* 2010 ; 33 : 245-313.
3. Kissler J, Herbert C, Peyk J, Junghofer M. Buzzwords: early cortical responses to emotional words during reading. *Psychol Sci* 2007 ; 18 : 475-80.
4. Pulvermuller F. Brain mechanisms linking language and action. *Nat Rev Neurosci* 2005 ; 6 : 576-82.
5. Kuhl P K, Miller JD. Speech perception by the chinchilla: voiced-voiceless distinction in alveolar explosive consonants. *Science* 1975 ; 190 : 69-72.
6. Ramus F, Hauser MD, Miller C, Mehler J. Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science* 2000 ; 288 : 349-51.
7. Grainger J. Cracking the orthographic code: an introduction. *Lang Cogn Process* 2008 ; 23 : 1-35.
8. Grainger J, Dufau S, Montant M, et al. Orthographic processing in baboons (*Papio papio*). *Science* 2012 ; 6078 : 245-8.
9. Fagot J, Bonté E. Automated testing of cognitive performance in monkeys: Use of a battery of computerized test systems by a troop of semi-free ranging baboons. *Behav Res Methods* 2010 ; 42 : 507-16.
10. Fagot J, Cook R. Evidence for large long-term memory capacities in baboons and pigeons and its implications for learning and the evolution of cognition. *Proc Natl Acad Sci USA* 2006 ; 103 : 17564-7.



Tarifs d'abonnement m/s - 2012

**Abonnez-vous
à médecine/sciences**

> Grâce à m/s, vivez en direct les progrès
des sciences biologiques et médicales

**Bulletin d'abonnement
page 804 dans ce numéro de m/s**

