

**ALLOCUTION DU DOCTEUR JOËL FAGOT  
LAUREAT DU PRIX INTERNATIONAL 2017 DE LA FONDATION FYSSSEN**

**La cognition des primates**

Monsieur le Président de la Fondation Fyssen,  
Mesdames et Messieurs les Membres du Conseil d'Administration,  
Mesdames et Messieurs les Membres du Conseil Scientifique,  
Madame la Directrice,  
Chers Collègues,  
Chers Amis,  
Mesdames et Messieurs,

C'est avec un immense plaisir que je reçois aujourd'hui ce Prix International de la Fondation Fyssen. Cette récompense est une magnifique reconnaissance de mon activité scientifique, et je me sens particulièrement honoré de le recevoir aujourd'hui. J'aimerais avant tout remercier les membres du Conseil Scientifique de la Fondation Fyssen de m'avoir sélectionné comme lauréat en 2017. Je remercie aussi très sincèrement le Professeur Stanislas Dehaene de m'avoir proposé à ce prix.

Je vais profiter de l'occasion qui m'est donnée aujourd'hui pour vous présenter mon parcours scientifique et quelques-uns de nos principaux résultats. Mais je souhaite avant tout souligner que la science est surtout une œuvre collective. Mon travail doit donc beaucoup à mes nombreux étudiants et collaborateurs. Je les remercie sincèrement tous pour leurs contributions respectives.

Si j'ai pu conduire les recherches que vous récompensez par ce prix c'est notamment grâce au CNRS. Je souhaite souligner ici sa bienveillance à l'égard de nos disciplines.

J'ai aussi une pensée pour les membres de ma famille, notamment Fabienne, Julie et Jérémie, que je remercie pour leur compréhension et leur soutien pendant toutes ces années.

**La question scientifique**

Ma première rencontre avec les primates non-humains date de 1984, alors que j'étais un étudiant en recherche de stage. A cette époque, j'ai eu la grande chance d'obtenir un stage sur la station de primatologie de Rousset, sous la direction de Jacques Vauclair qui deviendra plus tard mon directeur de thèse. Cette première expérience avec les primates a très profondément orienté ma carrière scientifique. D'une part, en côtoyant des babouins, je me suis vite rendu compte qu'ils ont des comportements vraiment sophistiqués, ce qui suggère qu'ils ont un monde mental particulière riche. D'autre part, ce stage m'a très vite permis de m'interroger sur leur façon d'encoder le monde. Ces animaux n'ont pas notre langage. J'ai toujours considéré que cette absence de langage doit induire des différences cognitives importantes entre l'humain et les autres primates. J'ai consacré toute ma carrière scientifique à essayer de comprendre ce que pouvait être cette pensée « sans langage » du primate non-humain, et à la comparer à la cognition humaine.

**Le paradigme**

Comme pour toute question scientifique, l'étude de la cognition des primates implique à la fois des choix théoriques et méthodologiques. Sur le plan théorique, j'ai eu une formation initiale en Psychologie Cognitive, et j'ai donc été bercé très tôt par les grands noms de la Psychologie Cognitive. J'ai par exemple été influencé par les travaux d'Edward Tolman sur les cartes mentales, ou ceux de George Miller et Michael Posner, que vous avez récompensés par ce prix pour leurs travaux sur la mémoire ou l'attention. J'ai donc pris le parti d'étudier la cognition du primate en adoptant les principes et les concepts de la Psychologie Cognitive. Ainsi, mes travaux reposent notamment sur l'idée, centrale en Psychologie Cognitive, selon laquelle la cognition s'organise en une longue chaîne de traitements impliquant les fonctions de perception, d'attention, de mémoire,

ainsi que les phénomènes de catégorisation, et de raisonnement. Au cours de ma carrière, j'ai abordé toutes ces grandes fonctions cognitives dans une perspective comparative.

## **Et les méthodes**

S'agissant des méthodes, j'ai toujours été convaincu que l'étude du comportement est la meilleure fenêtre d'observation possible des processus cognitifs. J'ai donc développé une recherche qui infère les propriétés des mécanismes cognitifs par l'étude expérimentale du comportement. Ainsi, dès la fin des années 80, j'ai commencé à utiliser des tâches informatisées pour tester les compétences cognitives des babouins. L'utilisation de l'informatique nous permettait alors d'accéder à des méthodes de chronométrie mentale, si chères à la Psychologie Cognitive, ce qui était nouveau dans notre domaine de recherche sur l'animal.

Mais en tant que chercheurs de laboratoire, nous avons aussi tous la responsabilité de proposer des protocoles les plus compatibles possibles avec la question du bien-être animal. Dans les années 2000, j'ai donc imaginé un nouveau type de laboratoire qui améliore significativement le bien-être de l'animal en expérimentation. Dans mon laboratoire actuel, les singes vivent complètement librement en groupe social, et ont la possibilité d'interagir librement avec des ordinateurs qui sont mis à leur disposition. Chaque babouin est identifié par une puce électronique. L'ordinateur peut donc le reconnaître lorsqu'il rentre dans un box expérimental et lui proposer des tâches correspondant à son niveau de progression dans l'expérience.

La mise en place de cette nouvelle méthodologie a changé radicalement notre façon d'expérimenter sur le primate non-humain. D'une part, cette nouvelle approche nous évite de capturer l'animal pour les besoins de l'expérience. D'autre part, ce laboratoire a la particularité d'être complètement automatisé, et par cette automatisation nous sommes en mesure de collecter plusieurs dizaines de milliers d'essais par jour dans nos tâches. Nous avons donc maintenant de très grandes bases de données dans nos études, ce qui nous donne des informations particulièrement précises et détaillées cognition du primate, et sur les différentes variables qui entrent en jeu dans l'expression des fonctions cognitives.

## **De nombreuses similitudes avec l'humain**

J'ai donc conduit des dizaines d'expériences qui étudient les mécanismes de perception, d'attention, de mémoire, de catégorisation ou de raisonnement chez le babouin. Certains de ces travaux montrent des similarités remarquables avec l'humain, alors que d'autres montrent des différences tout aussi remarquables. Permettez-moi d'illustrer dans un premier temps le type de similarités que nous observons. Je le ferai en vous présentant deux études.

La première étude, qui a été réalisée avec mon collègue Robert Cook de l'université de Tufts, portait sur les capacités de mémorisation à long-terme du babouin. Pour tester leurs capacités de mémoire, nous avons développé une tâche où les babouins percevaient des images sur l'écran, et devaient apprendre à associer une réponse parmi deux possibles à chacune de ces images. Pendant 5 ans, j'ai progressivement augmenté le nombre d'images apprises pour tester les limites de leurs capacités de mémorisation. Dans les faits, les babouins ont montré des capacités de mémorisation tout à fait impressionnantes. Ils ont réussi à mémoriser un total de 6000 images dans cette tâche, et n'ont certainement pas atteint leurs limites à ce stade. Cette expérience a par la suite été répliquée chez l'humain un chercheur américain, et la comparaison des deux études montre des résultats remarquablement similaires entre les deux espèces. Par exemple, les deux espèces mémorisent approximativement le même nombre d'images. Elles ont les mêmes vitesses d'oubli, et des effets de récence ou de primauté se retrouvent chez les deux espèces. Tous ces résultats suggèrent que ce système de mémorisation à long terme du babouin est partagé avec l'humain. Il serait donc phylogénétiquement ancien.

Permettez-moi de vous présenter une seconde étude, qui illustre également des similitudes intéressantes entre l'humain et le babouin. Avec mes collègues du Laboratoire de Psychologie Cognitive, notamment J. Grainger et Johannes Ziegler, j'ai entraîné des singes à catégoriser des mots ou des non-mots de quatre lettres, en répondant d'une certaine manière à la présentation de mots, et d'une autre manière à la présentation de non-mots. Après quelques milliers d'essais d'entraînement dans la tâche, nous avons montré que le babouin pouvait catégoriser correctement les mots écrits qu'on lui présentait, même quand il ne les avait jamais vus avant. En analysant leurs performances, nous avons découvert que les babouins appliquent une stratégie d'encodage qui s'apparente à un traitement orthographique. L'utilisation de modèles de type « deep-learning » a révélé qu'ils basent leurs réponses sur la présence de bigrammes ou trigrammes particulièrement fréquents dans le

vocabulaire. De plus, le babouin est, comme l'humain, sensible à la distance orthographique entre les mots et les non mots. Il y a donc continuité là aussi entre l'humain et le singe. Notre aptitude au traitement orthographique repose sur des compétences d'analyse de régularités statistiques qui sont déjà présentes chez le primate non-humain.

### **Mais des différences cognitives importantes avec l'humain**

Cependant, toutes ces similarités ne doivent pas nous amener à penser que les singes ont systématiquement le même traitement que nous. Nos expériences révèlent aussi souvent des différences importantes entre l'humain et le babouin. Voici une expérience qui est à la fois très simple et très informative.

Dans cette expérience, chaque essai débute par la présentation d'un premier écran, composé de deux stimuli affichés sur la partie gauche de l'écran. Le sujet doit simplement détecter l'étoile dans cet écran et la toucher. On lui présente ensuite un deuxième écran, avec cette fois-ci deux stimuli sur la droite de l'écran, et le sujet doit détecter le triangle et le toucher. Il existe différents modes d'encodage possibles de cette situation. Une première stratégie consiste à avoir un encodage centré sur l'objet, qui consiste à coder la forme et sa position spatiale des objets. Une seconde stratégie consiste à encoder les relations entre objets, en considérant que l'étoile est reliée au triangle. Nous avons montré que les babouins appliquent un codage centré sur l'objet dans cette expérience. La stratégie des humains est différente, puisqu'ils encodent en priorité la relation entre ces deux objets visuels qu'il faut toucher. Ces différentes stratégies se révèlent notamment lorsque l'on inverse les objets à l'écran. Dans ce cas, seul l'humain continue à répondre correctement, car l'inversion spatiale préserve les relations entre objets. J'ai choisi de vous présenter cet exemple, car il illustre un des biais cognitifs qui caractérise les comportements des singes et des humains dans la plupart de nos tâches. L'humain encode assez systématiquement nos tâches de manière relationnelle, alors que le babouin exprime le plus souvent un biais cognitif qui le focalise davantage sur les propriétés non relationnelles des objets, comme des informations de forme, de couleur ou de position.

Mais le babouin est-il pour autant complètement incapable de développer une pensée abstraite ou relationnelle ? De nombreux chercheurs postulent que la pensée abstraite ou relationnelle complexe implique le langage. Une de mes contributions à ce domaine a été de montrer que le babouin peut aussi nous montrer des compétences poussées au raisonnement abstrait. Permettez-moi de vous présenter rapidement une tâche qui illustre ses capacités d'abstraction. Il s'agit ici de la tâche d'appariement relationnel qui est classiquement utilisée pour étudier l'émergence du raisonnement analogique chez l'enfant. Chaque essai se déroule en deux phases dans cette expérience. Dans la première phase, on présente une paire d'objets aux sujets et ils doivent mémoriser si les éléments de la paire sont identiques ou différents. Dans la deuxième phase, on leur présente deux autres paires d'objets, composées d'autres stimuli, et le sujet doit indiquer laquelle de ces deux paires représente la même relation (d'identité ou de différence) que la paire initiale. Ainsi, le singe doit non seulement être capable d'identifier des relations abstraites d'identité ou de différence, mais il doit aussi associer ces relations entre-elles. Dans les années 80, David Premack a publié l'idée que seul l'enfant et les grands singes entraînés au langage peuvent apprendre à résoudre cette tâche. Nos travaux démontrent que ce n'est pas le cas. En effet, certains babouins arrivent à résoudre cette tâche après quelques dizaines de milliers d'essais d'entraînement. Après entraînement, ils peuvent même continuer à y répondre correctement avec des paires composées d'éléments nouveaux, ce qui démontre la flexibilité des stratégies apprises. Les singes font donc parfois preuve d'abstraction, même s'ils n'ont pas notre langage.

Je n'ai pas le temps de vous présenter ici tous mes travaux mais vous l'avez compris, toutes ces recherches nous permettent progressivement de mieux préciser la portée et les limites de la cognition du primate non-humain. Ces travaux comparatifs nous apportent également des informations vraiment importantes sur la cognition humaine. Par exemple, ils nous permettent de conclure que le langage n'est *a priori* pas indispensable pour la totalité des fonctions partagées par l'humain et l'animal.

### **Sur l'évolution du langage**

Mais ces recherches comparatives sur la cognition du primate présentent un autre intérêt, car elles permettent également de mieux comprendre l'évolution des fonctions cognitives au cours de la phylogénèse. J'aimerais maintenant vous illustrer ce dernier point, en me focalisant sur la question de l'émergence du langage.

La question de l'émergence du langage est un des sujets les plus débattus dans les domaines de la science. Les théories sont nombreuses sur l'évolution du langage, il y en a des dizaines. Cependant, la plupart de ces théories ont un point commun qui consiste à considérer que le langage serait apparu soudainement à la suite d'un changement biologique ou cognitif majeur. La théorie Philip Lieberman est un cas d'école dans ce contexte. Dans les années 60, Philip Lieberman a émis l'hypothèse que les primates non-humain sont anatomiquement incapables de produire les sons de la parole, du fait d'un larynx placé trop haut dans le conduit vocal. L'humain n'aurait pas cette limitation car son larynx est placé plus bas dans le conduit vocal.

Avec Louis-Jean Boe du Gipsa-Lab de Grenoble, et d'autres collègues qui ont des compétences exceptionnelles en acoustique, nous avons testé cette hypothèse de Lieberman en nous intéressant aux productions vocales du babouin. Dans la pratique, nous avons enregistré plus de 2000 vocalisations spontanées des babouins pour en analyser les formants, c'est-à-dire les signatures acoustiques caractéristiques des voyelles. Une des contributions majeures de ce travail a été de montrer pour la première fois qu'un primate non-humain peut produire une variété de sons qui ont les propriétés acoustiques des voyelles. Dans ce cas précis, nous avons trouvé au moins cinq sons différenciés qui ont les propriétés acoustiques des voyelles. Parmi ces sons, on retrouve des sons proches de notre /u/, d'autres qui sont proches de nos /a/, et d'autres qui s'apparentent davantage au /i/. Nos résultats suggèrent donc que la théorie de Lieberman est fautive, car les babouins produisent ces sons différenciés alors qu'ils ont un larynx en position haute dans le conduit vocal. Ce travail montre en revanche que le babouin dispose déjà d'une sorte de proto-système vocalique qui peut être considéré comme un des précurseurs de la parole humaine.

Mais il existe d'autres précurseurs du langage que l'on retrouve chez l'animal, notamment des précurseurs dans la sphère des fonctions cognitives. Nous avons récemment étudié certains de ces précurseurs avec Raphaëlle Malassis, Arnaud Rey, et Stanislas Dehaene. Nos travaux sur cette question utilisent une tâche simple consistant à toucher du doigt un point qui se déplace en séquence sur l'écran. L'intérêt de protocole est de pouvoir faire apprendre aux singes des séquences qui partagent certaines des propriétés du langage. En manipulant les séquences, on peut donc vérifier comment les singes se comportent en cas de violation de ces propriétés caractéristiques du langage.

Chez l'enfant, on sait depuis les travaux de Jenny Saffran que la segmentation du flux de la parole repose sur une prise en compte de probabilités de transition entre les mots. En utilisant cette tâche de pointage, nous avons montré que les singes sont aussi sensibles aux probabilités de transition dans des séquences. Ce phénomène serait donc partagé par les deux espèces. Un autre phénomène important pour le langage est la mise en relation d'éléments à distance. Par exemple, comprendre la phrase « le chien de ma voisine aboie », implique de relier le sujet et le verbe en dépit d'éléments intermédiaires. Avec la tâche de pointage, nous avons également montré que les babouins peuvent aussi apprendre des associations non adjacentes. Ce phénomène est donc lui aussi partagé par les deux espèces. Enfin, une autre propriété du langage humain est son organisation hiérarchique. Dans le laboratoire, nous avons des données non encore publiées qui montrent que les babouins se représentent des séquences en miroir comme telles, ce qui suggère qu'ils sont sensibles à leur organisation hiérarchique. Il y aurait donc là encore des éléments de convergence entre espèces. Cependant, nos travaux sur les prémices du langage révèlent également un certain nombre limitations cognitives du babouin. Voici un dernier exemple qui illustre une différence humain-babouin : Nous avons présenté dans la tâche de pointage des séquences de 9 points composées de trois sous-séquences de trois points. En comparant le traitement de ces séquences chez l'humain et le babouin, nous avons découvert que les humains traitent la totalité de ces séquences. Le babouin n'a pas cette capacité, et son analyse ne dépasse pas le niveau des triplets. Cette différence s'explique probablement par des limitations de capacités en mémoire de travail. Pour résumer, on retrouve donc chez le babouin un bon nombre des mécanismes qui servent au langage, mais ces différents mécanismes ne s'expriment pas tous avec la même efficacité que chez l'humain.

Permettez-moi une conclusion en trois points sur la base de ces résultats. Ma première conclusion sera que l'hypothèse d'une continuité évolutive semble en accord avec la plupart des données que nous avons collectées dans mon laboratoire. Elle est notamment en accord avec la démonstration d'un toujours plus grand nombre de fonctions partagées par l'humain et le singe. Ma seconde conclusion repose sur l'idée que les mécanismes partagés qui s'observent chez le babouin n'ont pas évolué pour servir au langage, car le babouin n'a pas notre langage. J'en conclus donc qu'il y a eu exaptation, c'est-à-dire une sorte de réaffectation fonctionnelle de ces différentes briques cognitives élémentaires au cours de l'évolution pour qu'elles servent au langage chez l'humain. Ma dernière conclusion fera référence à cette notion de différence d'efficacité cognitive entre espèces. Dans le laboratoire, nous avons souvent montré que le babouin peut résoudre des tâches qui semblaient inaccessibles aux singes. Cependant, toutes ces magnifiques démonstrations impliquent le plus souvent de très longs

apprentissages, et les performances finales des singes ne sont pas toujours au même niveau que pour l'humain. Ces différences d'efficacité cognitive entre l'humain et le singe soulèvent une question intéressante. Que se passerait-il si on pouvait doter les babouins actuels une routine cognitive lui permettant une pensée récursive (je fais référence ici à la théorie de Hauser, Fitch et Chomsky, 2002), ou si on pouvait les doter soudainement un larynx bas (je fais ici référence à la position théorique de Lieberman et al., 1969). Aurait-il dans ce cas toutes les ressources nécessaires pour faire évoluer un langage ? Je ne le pense pas, et ma dernière hypothèse sera donc que l'émergence du langage a certainement aussi été préparée par une expansion générale des fonctions cognitives au cours de la phylogénèse des primates.

### **En conclusion**

Je pense que mes travaux ont permis de faire évoluer les procédures expérimentales de mon domaine de recherche. Nous avons maintenant des paradigmes particulièrement efficaces qui ouvrent de très belles perspectives en recherche. J'ai de plus plaisir à constater que les méthodologies que nous avons développées se propagent progressivement dans le domaine des Neurosciences qui commencent à combiner nos techniques d'auto-identification en libre accès avec des méthodes d'enregistrement de l'activité cérébrale. Les travaux réalisés dans mon laboratoire ont de plus permis de mieux préciser toute l'étendue et les limites de la cognition « sans langage » du primate non-humain. Lorsque j'ai débuté ma carrière dans les années 80, les perspectives sur l'évolution de l'intelligence et du langage se focalisaient presque exclusivement sur les discontinuités entre l'humain et les autres espèces animales. J'ai aussi un plaisir certain à penser que mes travaux ont permis de faire évoluer ces perspectives théoriques, dans le sens de la démonstration d'une toujours plus grande continuité entre la cognition du primate non humain et la nôtre.

Permettez-moi d'interpréter ce magnifique prix comme une reconnaissance de mon activité passée, mais aussi comme un encouragement à poursuivre ces travaux que vous avez jugé intéressants.

De nouveau, je vous exprime ma profonde reconnaissance pour cette superbe récompense.

Et je vous remercie pour votre attention.

Joël Fagot

**ADDRESS BY DOCTOR JOËL FAGOT  
RECIPIENT OF THE INTERNATIONAL PRIZE 2017 OF FYSSSEN FOUNDATION**

**Primate cognition**

Dear President of the Fyssen Foundation,  
Dear Members of the Board of Directors,  
Dear Members of the Scientific Council,  
Dear Director-General of the Fyssen Foundation  
Dear Colleagues,  
Dear Friends,  
Ladies and Gentlemen,

This award is a wonderful recognition of my scientific activity, and I feel particularly honored to receive it today. I am thankful to the members of the Scientific Council for having chosen me as a laureate in 2017. I am also thankful to Professor Stanislas Dehaene for recommending my name as a potential laureate.

I will present here in a few minutes my scientific background and some of my main results. Before all, I would like to emphasize that Science is a collaborative process, and that nothing would have been possible without the essential contribution of all my students and collaborators. I will not be able to cite the name of every collaborator during this speech, but I want to thank all of them for their respective contributions. I want to acknowledge here the role played by the CNRS in my research. The CNRS has always been a support for my research. I have also a thought for my family members, namely Fabienne, and my two children, Julie and Jérémie. I want to thank them for their comprehension and supports.

**The scientific question**

My first exposure to non-human primates dates back from 1984, when I was a young student looking for internships. At that time, I had the great chance to get an internship at the primate station in Rousset-sur-Arc, under the supervision of Jacques Vauclair who will later become my Phd advisor. This first exposure to non-human primates had a major impact on my scientific career. On the one hand, I quickly realized that non-human primates have complex social and nonsocial behaviors, suggesting that they have a particularly rich mental world. On the other hand, these animals do not have our language, and their representations of the world must therefore be very different from ours. My career has been entirely devoted to the understanding of this cognition “without language”, and to the comparison of the human and non-human primate cognitive systems.

**The paradigm**

From a theoretical standpoint, I had an initial training in Cognitive Psychology, and have therefore chosen to study primate cognition by adopting the principles and concepts of Cognitive Psychology. Thus, my work is based on the idea that cognition can be understood as a chain of cognitive processes including perception, attention, short- and long-term memory, as well as categorization, and reasoning. In my laboratory, I have explored all these processes in a comparative perspective.

**The methods**

Regarding the methods, I have always been convinced that the behavior of animals provides the best and most immediate information on their cognition. I have thus developed a research program in which I inferred primate cognition from the study of their behaviors. In the late eighties, I began to use computers to test baboons in behavioral studies. Use of computers allowed procedures based mental chronometry which were new at that time in comparative studies.

Researchers working with animals must be also concerned by animal welfare. I have thus recently imagined a new type of laboratory improving animal welfare during cognitive studies. In my current laboratory, the non-human primates

(baboons) live in their social groups and can interact freely with computers presented *ad-libitum*. Each baboon is identified by a microchip, and the test program recognizes the subject when it enters an experimental box. The computer can therefore display an experimental task to the subject which depends on the identity and level of performance of the baboon. The major advantage of this innovative procedure is that we no longer must capture the primates for the research. In addition, the automation of the laboratory, which is running 24 hours a day, allows the collection of a considerable number of trials in our cognitive tasks (about 30 000 trials recorded/day). Such large databases provide accurate and detailed information on primate cognition, and on the different variables that affect cognitive performance.

### **Numerous similarities with humans**

We have conducted dozens of experiments in my laboratory to study the mechanisms of perception, attention, memory, categorization and reasoning in baboons. Some of these works showed remarkable similarities with humans. Others show remarkable differences.

With my colleague Robert Cook from Tufts University, I run an experiment aimed at studying long-term memory storage in baboons. We presented pictures on the screen, and trained the baboons to associate one response (binary choice) to each image. The test design increased progressively the number of images to be learned. The baboons could learn and remember up to 6000 different images in this task. Baboons have therefore impressive long-term memory capabilities. This experiment was subsequently replicated in a human by an American colleague and the two studies showed remarkably similar results. Thus, the two species memorized approximately the same number of images and had similar rates of forgetting. Also, our study revealed human-like primacy and recency effects in baboons. All these results suggest that the long-term memory system is phylogenetically ancient, and shares many similarities in humans and baboons.

Let me present a second study that illustrates amazing similarities in cognitive processing between humans and baboons. It was conducted with Dr. J. Grainger, Johannes Ziegler and other colleagues from the laboratory. In this study, I trained baboons to discriminate four-letter real words from four-letter non-words. After thousands of training trials, the baboons could sort correctly these two kinds of stimuli in two categories. They could even do so correctly at the first presentation of words that they had never seen before. In this kind of tasks, humans typically detect the presence of frequent bigrams or trigrams in the vocabulary, and give their word vs. non-word responses on that basis. Deep learning models revealed that the baboons used a human-like strategy in this task. Thus, baboons also based their responses on the presence of frequent bigrams or trigrams that are distinctive characteristics of words. We also found that the baboons are, like humans, sensitive to the orthographic distance between words and non-words. We conclude from this study that this type of treatment requiring the detection of statistical regularities within strings of letters is also shared by humans and baboons.

### **Significant cognitive differences with humans**

All these similarities should not mislead us. Monkeys do not systematically use the same strategies as us, and our experiments often reveal important differences between humans and baboons. Let me illustrate this type of differences with the following study.

In this study, the subject firstly saw two stimuli which are displayed on the left of the screen, and had to touch one pre-defined shape in this display. A second screen is then presented, with two stimuli on the right, and the subject must select another predefined stimulus. Two different cognitive strategies are possible in this task. A first strategy is to associate each stimulus to its position on the screen. This is an "object-centered" mode of encoding. The second strategy is to encode the relation between the two stimuli that they must touch. The baboons used the first "object-centered" strategy, and therefore encoded the position of the objects in priority. Because of this strategy, they became unable to respond correctly when the two stimuli were shifted. By contrast, humans encoded in priority the relation between these two elements, and therefore continued to solve the task when their positions were shifted. This experiment reveals one of the many cognitive biases of the baboons: The baboons process in priority the properties of the objects at the expense of more abstract relational properties between objects. Humans give more importance to relational information in the same task, in comparison to baboons.

## **Abstract thought**

Are baboons completely unable to develop an abstract or relational thought? We have conducted dozens of experiments in this field and the answer is that they can also show advanced capacities for abstract reasoning.

To investigate abstract thinking, I have tested baboons with the relational matching task which is a standard test to study the emergence of analogical reasoning in children. Each trial involved two phases in this task. In the first phase, a pair of objects is presented and the baboons must memorize if these two objects are identical or different. In the second phase, the baboons perceive two other pairs of objects, composed of other stimuli, and the baboons must touch the stimulus pair showing the same (same or different) relation as the initial sample pair. Thus, to solve this task, the monkey must process the relation between relations (second-order relational processing). We have shown that baboons can learn this task. Not every baboon can learn it, but some do after thousands of training trials. After training, the baboon can also generalize its behavior to novel stimuli never seen before, suggesting some flexibility in the strategies they have learned.

To summarize, these studies showing similarities and differences with humans define the extents and the limits of the cognitive system of non-human primates. Moreover, this comparative approach also reveals some of the properties of human cognition, that would be undetectable otherwise. For example, demonstration of shared functions in humans and non-human animals allow us to conclude that language is probably not essential for these functions in humans.

## **On the evolution of language**

All these studies also bring important information on the evolution of the cognitive systems. Let me illustrate that last point by focusing on the emergence of language. The emergence of language is probably one of the most debated topic in Science. There are many theories on language evolution, and most of them share the idea that language appeared suddenly because of a major and sudden biological or cognitive change in modern humans.

Philip Lieberman's theory on the descent of the larynx is probably a case study in this context. In the late sixties, Philip Lieberman and colleagues hypothesized that non-human primates are anatomically unable to produce the sounds of speech due to a too high larynx. In humans, the larynx would have descended in the vocal tract approximately 100,000 years ago, allowing the production of the sounds of speech. With Louis-Jean Boe from the Gipsa-Lab in Grenoble, and other colleagues with exceptional scientific skills in the domain of acoustics and speech processing, we recorded more than 2000 spontaneous vocalizations in baboons. Our analyzes of these recordings focused on the presence of formants, in other words, on the acoustic signatures that characterize vowels in speech. Our study combined an investigation of the anatomy of the baboon's vocal tract, a modeling of their vocal tract's acoustic potential, and acoustic analyzes of the vocalizations. We found that the baboon can produce at least five distinctive vowel-like sounds. Interestingly, these five sounds cover a large portion of the baboon's vocal spaces, and were not restricted to the central "schwa" (as expected by the descent of larynx theory). All these data invalidate Philip Lieberman's hypothesis of an anatomical incapacity in non-human primates to produce the sounds of speech. They rather support the idea that the baboons use a vowel proto-system that might be a precursor of speech.

There are other precursors of language than the ability to produce the sounds of speech. We have recently studied some of them in baboons using cognitive tasks. These studies were conducted with Raphaëlle Malassis, Arnaud Rey, and Stanislas Dehaene. Our studies used serial response time tasks, requiring the subjects to simply follow a dot that moves in sequence on the screen. With such tasks, we can expose the subjects to sequences sharing some of the properties of the language. By manipulating the sequences, we can therefore verify how the monkeys behave when these properties are violated.

We know from the work of Jenny Saffran that children process the transitional probabilities among words to segment the flow of speech. Using the serial response time task with baboons, we found that the monkeys are also sensitive to transitional probabilities in sequences. Another important phenomenon for language is the detection of long-distance associations. To understand the sentence "The dog in this house barks", for instance, we need to detect the long-distance association between the subject "(dog)" and the verb ("barks"), despite intervening ("in this house") words. We have also recently found that the baboons can also learn non-adjacent associations within sequences. A third property of human

language is its hierarchical organization. In the laboratory, we have also recently found that monkeys process correctly mirror-image sequences which have a hierarchical organization. However, our works also highlight cognitive limitations in baboons. In another recent study, we presented humans and baboons with long 9-dot sequences composed of three sub-sequences of three dots each (or triplets). Comparing the treatment of these sequences in humans and baboons, we discovered that humans treat the full sequence whereas baboons limit their processing at the level of the triplets. This difference is probably due to working memory limitations in baboons.

These results, and the many others collected in our laboratory, allow three major conclusions. My first conclusion is that the hypothesis of evolutionary continuity seems the most reasonable one, and the most supported by the data collected so far in my laboratory. My second conclusion is based on the idea that the shared mechanisms in baboons and humans did not originally serve the language function, because the baboon does not have our language. I therefore conclude that most of these functions serving language in humans were exapted, and that their functions have been reassigned in humans for serving the language function. My last conclusion will refer to the fact that the baboons are rarely as efficient as humans in our tasks. One may wonder what would happen if we could equip the baboons with a cognitive routine allowing recursive thinking (i.e., Hauser, Fitch and Chomsky, 2002), or if they were suddenly given a low larynx (i.e., Lieberman et al., 1969). Would they have in that case all the cognitive resources necessary for the emergence of a language? I do not think so. This remark suggests that the emergence of language has certainly also been prepared by a general expansion of cognitive functions in the phylogeny.

### **To conclude**

I believe that one important contribution of my works has been to introduce a change in the experimental procedures in my scientific domain. One reason of satisfaction is that the protocols we have developed in my laboratory begin to be used in other domains of science, especially in Neurosciences. In a more theoretical perspective, theories on the evolution of intelligence and language focused mostly on discontinuities between humans and the other animals when I started my career more than 30 years ago. Another reason of satisfaction is that my experimental works have favored more continuous views on the evolution of intelligence within the primate order. Please allow me to interpret this prize as an encouragement to continue this work that you found interesting.

Again, I thank you for this wonderful prize, and thank you all for your attention.

Joël Fagot