



HAL
open science

Émergence et évolution de la cognition humaine

Sophie A. de Beaune

► **To cite this version:**

Sophie A. de Beaune. Émergence et évolution de la cognition humaine: Apports et limites des approches actuelles. *Intellectica - La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*, 2020, Émergence et évolution de la cognition humaine, 73 (2), pp.7-26. halshs-03140954

HAL Id: halshs-03140954

<https://shs.hal.science/halshs-03140954>

Submitted on 19 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Émergence et évolution de la cognition humaine

SOMMAIRE

Sophie A. de BEAUNE : <i>Émergence et évolution de la cognition humaine. Apports et limites des approches actuelles. Introduction au volume.</i>	7
Lou ALBESSARD-BALL, Sophie GALLAS & Dominique GRIMAUD-HERVÉ : <i>Penser l'évolution du cerveau humain, de l'objet fossile au modèle virtuel</i>	27
Antoine BALZEAU : <i>Que savons-nous de la croissance et du développement du cerveau des humains préhistoriques ?</i>	57
Mathilde SALAGNON, Francesco d'ERRICO & Emmanuel MELLET : <i>Neuroimagerie et neuroarchéologie : une fenêtre sur l'évolution de la cognition</i>	67
Amélie BEAUDET & Caroline FONTA : <i>Aux origines de l'humanité : retracer les grandes étapes de notre évolution biologique et culturelle à partir de l'étude du cerveau de nos ancêtres</i>	93
Miriam Noël HAIDLE & Regine STOLARCZYK : <i>Penser les outils. De la reconstruction et l'interprétation des comportements techniques à leur modélisation via l'approche des "cognigrammes"</i>	107
Lyn WADLEY : <i>Appréhender les capacités cognitives passées : est-ce possible ?</i>	133
Lauriane RAT-FISCHER : <i>Développement ontogénétique de la cognition humaine : champs de recherche, méthodes et perspectives</i>	159

*Compte rendu*

Ioannis KANELLOS : <i>La liberté sémantique et le sens de la liberté : splendeurs et périls de la folie poétique.</i> [Compte rendu de l'ouvrage d'Elena Ciobanu, <i>Sylvia Plath's Poetry: The Metamorphoses of the Poetic Self</i> , Iași, éditions Demiurg, 2009]	181
---	-----

Soumission libre

Rachid OULAHAL : <i>Mémoire autobiographique et appartenance culturelle</i>	193
---	-----

Emergence and Evolution of Human Cognition

OUTLINE

Sophie A. de BEAUNE: <i>Emergence and Evolution of Human Cognition . Contributions and Limitations to Current Approaches.</i> <i>Introduction to the volume</i>	7
Lou ALBESSARD-BALL, Sophie GALLAS & Dominique GRIMAUD-HERVÉ: <i>Investigating the Evolution of the Human Brain: from Fossil Material to Virtual Models</i>	27
Antoine BALZEAU: <i>What Do we Know about Growth and Development of the Brain in Prehistoric Humans?</i>	57
Mathilde SALAGNON, Francesco d'ERRICO & Emmanuel MELLET: <i>Neuroimaging and Neuroarchaeology: a Window on Brain Evolution</i>	67
Amélie BEAUDET & Caroline FONTA: <i>Human Origins: Tracking the Human Biological and Cultural Evolution from the Study of the Brain of our Ancestors</i>	93
Miriam Noël HAIDLE & Regine STOLARCZYK: <i>Thinking Tools. With Cognigrams from Reconstructions and Interpretations to Models about Tool Behavior</i>	107
Lyn WADLEY: <i>Digging Cognition: Is it Possible?</i>	133
Lauriane RAT-FISCHER: <i>Ontogenetic Development of Human Cognition: Fields of Research, Methods and Perspectives</i>	159



Review

Ioannis KANELLOS: <i>Semantic Freedom and the Sense of Freedom</i> <i>Splendors and perils of Poetic Madness</i> [Book Review: Elena Ciobanu, <i>Sylvia Plath's Poetry: The Metamorphoses of the Poetic Self</i> , Iași, Demiurg, 2009]	181
---	-----

Regular paper

Rachid OULAHAL: <i>Autobiographical Memory and Cultural Background</i>	193
--	-----

Émergence et évolution de la cognition humaine. Apports et limites des approches actuelles

Sophie A. de BEAUNE*

RÉSUMÉ. Les contributions rassemblées ici visent à faire le point sur les moyens dont on dispose aujourd'hui pour appréhender l'origine et l'évolution de la cognition humaine. Mieux saisir les fondements de ce qui fait notre dispositif cognitif passe par la compréhension de la manière dont il s'est mis en place. Plusieurs voies sont possibles pour aborder la question des aptitudes cognitives des premiers homininsés et des anciens *Homo sapiens*.

La première est d'interroger les vestiges archéologiques pour tenter de reconstituer les opérations techniques dont ils sont le produit et l'usage auquel ils étaient destinés. On peut ainsi faire des hypothèses sur les aptitudes de ceux qui les ont fabriqués et utilisés : leur capacité à planifier, à faire preuve de flexibilité dans la résolution des problèmes, à développer une pensée abstraite, etc.

Les fossiles eux-mêmes et en particulier les calottes crâniennes peuvent par ailleurs apporter d'utiles informations sur la forme, le volume et la surface du cerveau grâce à des techniques de numérisation et de reconstitution en 3D de l'endocrâne. Une deuxième étape possible consiste à identifier expérimentalement les aires cérébrales sollicitées pendant une activité donnée puis à tenter de repérer des aires homologues sur l'endocrâne de fossiles d'homininsés. À la faveur de la présentation de toutes ces approches, différentes questions sont abordées dans ce volume, telles que l'apparition du langage articulé et celle de la fabrication d'outils.

Les recherches concernant l'évolution ontogénétique (c'est-à-dire de la naissance à l'âge adulte) de la cognition sont aussi évoquées dans ce volume, tant chez les *Homo sapiens* actuels que chez les anciens homininsés. Pour les premiers, on s'appuie sur les approches expérimentales, aujourd'hui complétées par des techniques d'imagerie cérébrale et l'électroencéphalographie, voire par la robotique développementale. Pour les seconds, les techniques de numérisation et de reconstitution en 3D de l'endocrâne sont susceptibles, à partir de l'examen de spécimens immatures, d'apporter des informations sur leur croissance et l'évolution de leurs aptitudes cognitives au cours de leur développement.

Les données fournies par la cognition animale peuvent également être d'un grand secours tant pour l'étude du développement ontogénétique de l'homme que celle de son évolution phylogénétique. Ces recherches invitent à chercher les continuités et les ruptures entre l'animal et l'homme tant au niveau de leurs comportements et de leurs aptitudes manuelles que de leurs facultés mentales.

* Université Jean Moulin - Lyon 3, Lyon & UMR 7041 ArScAn, équipe Archéologies environnementales, Nanterre. sophie.de-beaune@univ-lyon3.fr

Mots-clés : Paléocognition, anciens hominins, neuroarchéologie, archéologie, expérimentation, numérisation et modélisation 3D, imagerie cérébrale, psychologie du développement, phylogénèse, ontogénèse.

ABSTRACT. Emergence and Evolution of Human Cognition. Contributions and Limitations to Current Approaches. The contributions gathered in the present issue aim at presenting the state of the art on the methods used nowadays to understand the origin and the evolution of human cognition. A better understanding of the basis of our cognition requires defining the way it emerged. Several ways are possible to address the question of the cognitive abilities of the first hominins and ancient *Homo sapiens*.

First, the archeological artefacts provide information about the technical procedures that lead to the creation of such artefacts and/or their initial function. These reconstructed procedures give insights into the abilities of those who created and used them: planning capabilities, mental flexibility in problem solving, the development of abstract thoughts, etc.

Fossils and their skullcap offer useful information about the shape, the volume, and the surface of their brain thanks to the digitization and 3D modelling of the endocast. A second approach consists in the experimental identification of brain areas activated during a given activity and then define the homologous area on the endocast of hominins fossils. Through the presentation of all these methods, different issues are approached in the present issue, such as the origin of articulated language and the production of tools.

Research on the ontogenesis of cognition (from birth to adulthood) are presented in present *Homo sapiens* and in ancient hominins. For the former, experimental approaches are used together with brain imagery or developmental robotics. The latter, digitalization and 3D modelling of the endocast of immature specimens can provide useful insights on the growth and the evolution of their cognitive abilities.

Results on animal cognition are also used to study the ontogenesis and phylogenesis of humans. This research invites us to search for the continuity and breaches between animals and humans concerning their behaviors, their motor abilities as well as their mental faculties.

Keywords: Paleocognition, ancient hominins, neuroarcheology, archeology, experimentation, digitalization and 3D modelling, brain imagery, developmental psychology, phylogenesis, ontogenesis.

Les chercheurs disposent aujourd'hui de moyens d'étude variés pour aborder la genèse et l'évolution phylogénétique de la cognition humaine. Les idées, les concepts et le langage ne se fossilisant pas, les informations susceptibles de nous renseigner sur les aptitudes cognitives des anciens représentants du genre *Homo* sont forcément indirectes. Nous verrons que deux voies sont possibles : l'étude du cerveau lui-même et celle des productions de l'esprit. Les recherches concernant l'évolution ontogénétique de la cognition, c'est-à-dire de la naissance à l'âge adulte seront aussi évoquées, tant chez les *Homo sapiens* actuels que chez les anciens hominins. Nous verrons que l'ensemble de ces recherches font appel à de nombreuses disciplines, la préhistoire, la paléoanthropologie, la neuroarchéologie assistée de différentes

techniques d'imagerie, la psychologie du développement et la cognition animale. Les avantages et les limites de tous ces moyens d'approche seront évalués par les auteurs de ce dossier.

Lorsque nous évoquons l'émergence de la cognition humaine, il est indispensable de préciser d'emblée à quel « homme » nous pensons. Parlons-nous de l'homme actuel *stricto sensu*, c'est-à-dire l'*Homo sapiens*, qui a émergé il y a quelque 300 000 ans, mais qui est vraisemblablement encore plus ancien ? Ou bien évoquons-nous l'homme *lato sensu*, auquel cas il faut inclure tous les autres représentants du genre *Homo*, ceux qui ont précédé *Homo sapiens*, tels que *Homo habilis*, *erectus*, *antecessor*, pour n'en citer que quelques-uns, et ceux qui lui ont été un temps contemporains, comme *Homo naledi*, *neanderthalensis*, *floresiensis* ou encore *Homo luzonensis* récemment identifié aux Philippines ?

Une des données qui complique la question est que, contrairement à ce que l'on pensait il y a une soixantaine d'années, l'évolution de l'homme n'est pas le résultat d'un processus linéaire. La multiplication des découvertes a montré que l'évolution des hominines¹ a été buissonnante, comme celle des autres espèces, mais nous ignorons qui sont nos ancêtres directs, tant les candidats parmi les hominines anciens sont nombreux. Rappelons que le terme « hominine » désigne les seuls primates à avoir développé la bipédie comme mode de locomotion. Ils regroupent tous les fossiles du genre *Homo*, l'homme actuel, les Australopithèques dont on compte plus d'une dizaine d'espèces et les fossiles apparentés. Il est d'ailleurs probable que d'autres espèces anciennes sont encore à découvrir. Or, si plusieurs espèces d'hominines ont existé depuis 4 à 5 millions d'années, une seule a évolué vers le genre *Homo* puis l'espèce *sapiens*. Ainsi l'homme descend de l'une de ces espèces, mais il est bien difficile en l'état actuel des connaissances de dire laquelle. Discuter des hypothèses formulées par les spécialistes et de leurs arguments n'est pas le sujet de ce dossier².

Sachant que nous descendons d'une des branches de l'arbre de l'évolution, nous pouvons nous demander à partir de quel degré d'homination nous pouvons considérer que le Rubicon a été franchi et que nous sommes bien en présence d'êtres de la même espèce que la nôtre. Du point de vue anatomique, les paléanthropologues s'accordent pour considérer que le plus vieil *Homo sapiens* connu aujourd'hui est celui découvert à Djebel Irhoud, au Maroc, daté de 315 000 ans. Il s'ajoute à d'autres spécimens déjà identifiés ailleurs en Afrique du Sud et de l'Est, datés entre 250 000 et 350 000 ans (Hublin *et al.*, 2017 ; Richter *et al.*, 2017). Il présente suffisamment de caractères physiques proches des nôtres pour être intégré à notre espèce, malgré une boîte crânienne aussi volumineuse mais moins globulaire et un cervelet un peu moins développé, ce qui indique peut-être que l'organisation interne de son cerveau était moins complexe que la nôtre (Hublin *et al.*, 2017 ; Richter *et al.*, 2017). J'y reviendrai.

¹ Certains auteurs privilégient le terme « hominine ». Pour des raisons de simplification, nous avons adopté ici le seul terme « hominine ». Ne pas confondre les hominines avec les hominidés qui regroupent les paninés (chimpanzés et gorilles) et les hominidés.

² Pour de récentes synthèses sur le sujet, voir Grimaud-Hervé *et al.*, 2015 et de Beaune & Balzeau 2016.

Nous verrons que les auteurs des différentes contributions à ce numéro n'ont pas tous choisi la même focale. Lou Albessard et ses collègues Sophie Gallas et Dominique Grimaud-Hervé, Mathilde Salagnon et ses co-auteurs Francesco d'Errico et Emmanuel Mellet, Miriam Haidle et Regine Stolarczyk ont traité de l'évolution de la cognition depuis les plus anciens représentants du genre *Homo* jusqu'à l'*Homo sapiens*, tandis que Amélie Beaudet et Caroline Fonta se sont centrées sur les potentiels auteurs des premiers outils, vieux de 3,3 millions d'années, et que Lyn Wadley s'est focalisée sur l'émergence de la cognition propre à l'espèce *Homo sapiens* et son éventuelle évolution interne. Lauriane Rast-Fischer et Antoine Balzeau se sont quant à eux intéressés au développement ontogénétique de l'homme actuel et des hominins fossiles respectivement. Traiter des aptitudes cognitives de l'homme actuel ne peut de toute façon se faire sans quelques incursions chez des hominins plus anciens, ne serait-ce que pour comparaison.

ÉVOLUTION DU VOLUME ET DE L'ORGANISATION DU CERVEAU

Comme on l'a dit, la première des voies possibles pour étudier l'émergence et l'évolution des aptitudes cognitives de l'homme moderne est de se pencher sur l'évolution de la dimension et de l'organisation interne de son cerveau. Lou Albessard et ses collègues décrivent ici les méthodes utilisées pour restituer le volume et la surface du cerveau à partir de procédés mathématiques et pour étudier son empreinte interne sur le crâne, l'endocrâne. En effet, si le cerveau ne se fossilise pas, il est possible de retrouver sa forme grâce à la tomographie assistée par ordinateur (scanner), qui permet d'obtenir une reconstitution virtuelle en 3D de ses empreintes dans la cavité crânienne.

On a longtemps supposé que la complexité du cerveau augmente avec son volume au cours du temps. On note bien une augmentation régulière du volume endocrânien au cours de l'hominisation, depuis les anciens hominins (*Australopithecus* mais aussi *Homo habilis*, *georgicus*, *ergaster* et *erectus*) jusqu'aux *Homo sapiens*. Le volume du cerveau a pratiquement été multiplié par trois, passant de 500 à 1500 cm³ en deux à trois millions d'années. Sa croissance se traduit par l'augmentation de l'épaisseur de l'écorce cérébrale ou cortex, elle-même responsable de l'accroissement de la richesse des connexions interneuronales. C'est ce dernier élément qui pourrait avoir eu pour conséquence une nette amélioration des compétences cognitives. On sait en effet à présent que ce qui compte vraiment n'est pas le volume du cerveau, mais sa complexité – c'est-à-dire la complexité des connexions établies entre les réseaux de neurones – ou plus exactement la fluidité et la flexibilité des connexions cérébrales (Duffau, 2016 ; Anderson, 2014).

Or, on observe une décroissance du volume cérébral entre les *Homo sapiens* fossiles et actuels (Albessard *et al.*, ce numéro). Le cerveau des *Homo sapiens* ayant occupé l'Europe il y a 40 000 ans est en fait 15 à 20 % plus volumineux que celui de l'homme actuel. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les premiers hommes modernes arrivés en Europe étaient de très grande taille (1,80 m en moyenne) et que leur crâne était donc proportionnellement plus gros que le nôtre. Si le volume était bien corrélé à l'intelligence, nous devrions en déduire que l'intelligence des hommes s'est atrophiée ou que certaines aptitudes – sensorielles par exemple – ont été perdues, ce qui n'est sans doute pas le cas. Le plus vraisemblable est que cette contraction du cerveau dans une

boîte crânienne plus restreinte a engendré la formation de nouveaux replis du cortex cérébral, conduisant à l'augmentation des circonvolutions favorisant ainsi la multiplication des échanges entre aires cérébrales, et entraînant donc des capacités cognitives accrues (Neubauer *et al.*, 2018). Il y aurait donc eu dans un premier temps un accroissement du volume crânien avec un cerveau présentant peu de circonvolutions puis une augmentation de leur nombre à la suite de la réduction de la taille de la boîte crânienne.

D'autres indices montrent bien que l'association entre la croissance graduelle du volume du cerveau et celle de l'intelligence doit être relativisée. On observe d'une part que le coefficient de céphalisation – le poids du cerveau par rapport à celui du corps – est très variable dans le règne animal, d'autre part que certains individus au sein de notre espèce ont des cerveaux de petite taille, ce qui ne les empêche pas d'avoir des capacités cognitives dans la norme. La découverte sur l'île de Flores, en Indonésie, d'une population d'humains fossiles dont le cerveau n'était pas plus gros qu'un pamplemousse (*Homo floresiensis*) mais qui avaient pourtant les mêmes outils et vraisemblablement les mêmes modes de vie que leur voisin continental *Homo erectus* pourtant doté d'un cerveau plus volumineux, a définitivement mis à bas cette idée (Balzeau, ce numéro).

On peut en conclure que l'évolution du volume endocrânien et du coefficient d'encéphalisation est difficile à interpréter en termes de cognition. Les avantages et les inconvénients du gros cerveau d'*Homo sapiens* en terme adaptatif sont ici passés en revue par Lou Albessard et ses collègues, sans qu'il soit pour autant possible d'en comprendre le pourquoi (Albessard *et al.*, ce numéro).

Si le volume du cerveau a évolué, il en est de même de sa forme. Pour étudier l'évolution de la forme du cerveau des anciens hominidés et tenter de retrouver son organisation fonctionnelle, il est utile de comparer la surface de leur endocrâne avec celui de primates non humains actuels. La difficulté réside dans le fait qu'une aire anatomique ne sous-tend pas toujours des fonctions cognitives homologues d'une espèce à l'autre. De plus, on sait que le cerveau est capable de se réorganiser en cas de lésion cérébrale, ce qui suggère une aptitude élevée à évoluer rapidement sous certaines pressions. Cette plasticité cérébrale, bien connue des neurologues, qui permet la récupération partielle des fonctions sensorielles, motrices et cognitives en cas de lésion du cerveau, récupération variable selon l'âge du sujet et l'étendue de la lésion, est à prendre en compte dans l'interprétation de la lecture de la surface cérébrale des fossiles d'hominidés anciens (Albessard *et al.*, ce numéro).

Si l'on se penche plus précisément sur l'évolution de la forme du cerveau au sein du genre *Homo*, on observe, entre les premiers représentants du genre *Homo* et les *sapiens*, le développement important du néocortex, qui est mobilisé pour des tâches complexes nécessitant l'intégration et le croisement d'informations sensorielles et motrices. Ces aires connues sous le nom d'aires associatives sont impliquées dans le traitement de l'information et dans les processus cognitifs liés à la mémoire, au langage, à la planification des tâches et à l'intégration sensorielle permettant de mettre en relation par exemple un signal visuel et un signal auditif.

Au sein de l'espèce *Homo sapiens*, la comparaison des endocastes de plusieurs crânes d'hommes modernes d'époques différentes montre que la forme du cerveau a quelque peu évolué depuis 300 000 ans. Elle est passée d'une forme allongée étirée vers l'arrière à une forme plus globulaire, ce qui correspond à une augmentation progressive du volume du cervelet et des zones pariétales (Neubauer *et al.*, 2018). Or le cervelet est impliqué dans des fonctions telles que la coordination des mouvements et la gestion de l'équilibre, mais aussi dans la mémoire de travail, mémoire à court terme permettant de stocker et de manipuler les informations le temps de réaliser une tâche particulière ou un raisonnement. Il est aussi impliqué dans le langage, dans la cognition sociale et dans le traitement des émotions (Buckner, 2013). Il agit comme un filtre adaptatif capable de régler les actions et de les adapter au contexte, une fonction d'adaptation donc, dont on sait combien elle est fondamentale chez l'homme. Quant aux zones pariétales, elles sont impliquées dans des fonctions variées comme l'attention, la perception des *stimuli*, la conscience de soi et aussi la mémoire à court et à long terme et la planification (Berlucchi & Vallar, 2018).

DU CERVEAU AUX APTITUDES COGNITIVES

Lou Albessard et ses collègues présentent ici en détail ce que l'on peut dire aujourd'hui de l'évolution des différentes aires cérébrales chez les anciens hominés – lobes frontaux, bec encéphalique et bulbe olfactif, aire et caps de Broca, cortex préfrontal, lobes pariétaux et temporaux, lobes occipitaux et cérébelleux. Elles restent cependant très prudentes quant à l'interprétation que l'on peut en faire en termes de cognition car on sait aujourd'hui que les aptitudes cognitives ne sont pas directement reliées aux aires du cerveau, comme on l'a longtemps pensé à la suite des travaux de Paul Broca au XIX^e siècle. Comme il a déjà été dit, la plasticité du cerveau est telle qu'en cas de lésion d'une de ses aires, le patient va compenser le manque et ses connexions neuronales vont se réorganiser (entre autres Duffau, 2016 ; Anderson, 2014 ; Lambert & Rezsöházy, 2004). Le cerveau fonctionne en réseaux et différentes régions sont activées lors de la moindre tâche. Les fonctions cérébrales résultent ainsi de la mise en réseaux de plusieurs zones actives disséminées en différents points du cerveau. Il y a en réalité aujourd'hui consensus pour adopter une position intermédiaire entre le localisationnisme –selon lequel certaines zones du cerveau sont spécialisées dans certaines fonctions – et le globalisme, et on admet volontiers à la fois un certain niveau de localisation des fonctions et un fonctionnement global en réseau (Le Bihan, 2018). L'imagerie cérébrale permet ainsi de localiser des « chemins d'activation » sans pour autant situer une fonction dans le cerveau. Ce qui implique qu'une zone cérébrale ne peut fonctionner seule, sans connexion. Quant à l'intelligence, il y aurait des réseaux codant les connaissances acquises et ceux correspondant au raisonnement adaptatif et à la résolution de problèmes (Barbey *et al.*, 2012).

Les techniques de numérisation et de reconstitution en 3D de l'endocrâne constituent une première étape dans le processus d'exploration virtuelle et d'étude du matériel fossile, et peuvent être complétées par la neuroarchéologie qui consiste à identifier les aires cérébrales sollicitées pendant une activité réalisée expérimentalement, puis à établir des corrélations entre cette activité et

la présence de ces aires sur l'endocrâne de fossiles d'homininés. Elle permet d'aborder des sujets tels que l'origine et l'évolution du langage et de la mémoire, l'émergence de la pensée symbolique³, de la théorie de l'esprit – c'est-à-dire la capacité à inférer des intentions à autrui –, et de la cognition sociale. Ces études visent à cartographier, chez l'homme actuel, les fonctions cognitives et leurs substrats neuronaux au cours de tâches dont on sait qu'elles ont existé par le passé, afin de situer le moment où les fonctions cognitives correspondantes sont apparues et la façon dont elles ont évolué. Les études ont jusqu'à présent porté principalement sur la réalisation d'outils en pierre taillée (Salagnon *et al.*, ce numéro ; Beaudet et Fonta, ce numéro).

Après avoir présenté l'arsenal des méthodes d'imagerie à la disposition des neuroarchéologues ainsi que leurs avantages et leurs limites, Mathilde Salagnon et ses collègues développent ici les résultats expérimentaux obtenus concernant la taille de la pierre et la gravure. Des examens par PET (*Positron Emission Tomography*) sur des volontaires ont montré que les aires activées lors de la taille d'outils en pierre semblent les mêmes que celles qui sont impliquées dans le langage articulé – aires de Broca et de Wernicke (Stout & Chaminade, 2012). Mathilde Salagnon et ses collaborateurs discutent ici longuement de la question de la co-émergence présumée du langage et de la taille de la pierre. L'idée sous-jacente est que la complexité croissante de l'utilisation des outils aurait été liée à l'émergence du langage et constituerait un indicateur de l'évolution d'autres fonctions cognitives telles que la coordination fine perceptivo-motrice, la planification et la cognition sociale (Tomasello *et al.*, 2005). Les auteurs concluent cependant que, malgré le grand nombre d'expériences menées en neuroimagerie avec des méthodes différentes, aucune n'a fourni de preuves concluantes de l'existence d'une relation entre le langage et la fabrication d'outils. Tout au plus peut-on dire que le langage et la fabrication d'outils ont pu avoir coévolué, la transmission orale facilitant l'apprentissage et stabilisant le savoir-faire (Salagnon *et al.*, ce numéro).

Quoi qu'il en soit, l'hypothèse de l'apparition conjointe du langage et de la taille de la pierre paraît peu vraisemblable car elle n'expliquerait pas les dates très reculées fournies par l'archéologie des premiers outils taillés, quelque 3,3 millions d'années, c'est-à-dire bien antérieurement à l'apparition des premiers représentants du genre *Homo* il y a environ 2,8 millions d'années. À titre personnel, j'avancerai une autre hypothèse, selon laquelle ces aires, primitivement dévolues à la taille de la pierre, auraient été réaffectées à la production du langage par la suite. Cela rejoindrait le modèle d'évolution par exaptation proposé par Stephen Jay Gould, l'exaptation étant le changement de destination d'un élément initialement destiné à d'autres fonctions (Gould & Vrba, 1982). Un exemple plus récent est celui donné par Stanislas Dehaene concernant les processus neurologiques mis en jeu au cours de l'apprentissage

³ Une définition courante de la pensée symbolique est qu'il s'agit de l'utilisation d'un signe ou d'une marque pour représenter une idée, un objet ou une relation. Souvent, les définitions d'un symbole incluent (1) qu'il est un référent arbitraire de ce qu'il représente réellement, (2) qu'il n'y a pas de ressemblance entre le signifiant et le signifié, et (3) qu'il doit être culturellement appris. Les préhistoriens invoquent généralement les concepts sémiotiques d'icônes, d'indices et de symboles de Charles Sanders Peirce (1839-1914) pour analyser l'art pariétal, la parure personnelle, les origines du langage et les inhumations, et pour en déduire leur caractère symbolique.

de la lecture, qui envahissent des régions cérébrales initialement dévolues à des fonctions proches (Dehaene, 2003). Ce concept de « recyclage neuronal » qui ressemble à celui d'exaptation de Stephen Jay Gould rappelle le bricolage évolutif de François Jacob (1981).

L'imagerie cérébrale a aussi tenté d'explorer le possible lien entre l'évolution des plus anciennes techniques de taille de la pierre et le développement des aires dévolues à la mémoire de travail. Ces études tendent à soutenir l'hypothèse selon laquelle l'encéphalisation a entraîné une amélioration de la mémoire de travail et éventuellement d'autres fonctions exécutives. Mathilde Salagnon et ses collègues évoquent également ici d'autres applications de telles expériences d'imagerie, comme l'étude des régions du cerveau impliquées chez des novices et chez des experts dans la taille de la pierre, afin de mieux comprendre les processus de transmission de savoir-faire qui impliqueraient une réorganisation fonctionnelle du cerveau supposant l'adoption de différentes stratégies cognitives pour la compréhension de l'action, selon le niveau d'expertise (Salagnon *et al.*, ce numéro).

Aussi intéressantes soient ces différentes démarches s'appuyant sur la neuroimagerie, les auteurs reconnaissent eux-mêmes que leur principal handicap est de reposer sur l'étude d'humains modernes. Elles permettent cependant de formuler des hypothèses sur les trajectoires évolutives depuis la cognition de nos ancêtres lointains jusqu'à la nôtre.

Amélie Beaudet et Caroline Fonta (ce numéro) proposent d'aller plus loin dans l'enregistrement des données fournies par l'examen des endocrânes de fossiles anciens. Il s'agit de restituer, sous forme de cartographies mais également d'analyses statistiques, les variations locales et globales de la morphologie de l'endocrâne entre les spécimens fossiles et les spécimens actuels. Des méthodes géométriques sont employées à partir de la copie virtuelle des endocrânes. Elles permettent de détecter automatiquement le relief des sillons et de les traiter à la manière des variations topographiques en cartographie. De telles techniques assurent une objectivité essentielle dans la description des empreintes cérébrales chez les fossiles, et participent aussi à l'élaboration de bases de données qui constituent une étape primordiale pour comprendre et quantifier la variabilité actuelle, par exemple sous forme de cartographies, comme cela a été réalisé en neurosciences.

Pour illustrer leur méthode, Beaudet et Fonta se sont penchées sur la question de l'identité des auteurs des plus anciens outils de pierre trouvés à Lomekwi au Kenya, datés de 3,3 millions d'années (Harmand *et al.*, 2015). On peut d'ores et déjà exclure les premiers *Homo* puisque les restes les plus anciens aujourd'hui connus datent de 2,8 millions. Il peut s'agir d'un *Kenyanthropus platyops*, seul fossile retrouvé dans la localité de Lomekwi, mais dont la place sur l'arbre généalogique des hominins est discutée en raison de ses caractères primitifs mais aussi de sa face plate d'allure moderne, d'où son nom, et de dents petites. Le Kenyanthrope serait, pour certains, l'un des ancêtres possibles d'*Homo rudolfensis*, et pour d'autres, tout simplement un spécimen d'*Australopithecus afarensis* dont le crâne a été déformé. L'Afrique de l'Est était aussi occupée à l'époque par d'autres hominins susceptibles d'être les auteurs des outils, les *Australopithecus afarensis* et *A. deyiremeda*. Il se trouve que les restes dentaires retrouvés dans la localité de

Lomekwi présentent des affinités avec *Australopithecus afarensis* et *A. deyiremeda*, et des ressemblances avec *Kenyanthropus platyops*. Il n'est donc pas possible de trancher sans nouvelle découverte de fossile associé à des outils taillés (Skinner *et al.*, 2020).

Quant à l'examen des empreintes préservées à la surface de l'endocrâne, Amélie Beaudet et Caroline Fonta ont été contraintes d'élargir l'échantillon susceptible d'être comparé, étant donné le faible nombre de moulages endocrâniens disponibles. Elles ont ainsi étudié la surface des endocrânes de certains Australopithèques (*A. sediba*, *africanus* et *afarensis*), de *Paranthropus robustus* et de deux spécimens anciens du genre *Homo*, pour y repérer les éventuelles aires corticales impliquées dans la taille de la pierre et pour évaluer leur proximité d'une part avec les chimpanzés, de l'autre, avec les *Homo sapiens*.

Le principal problème auquel se heurtent les auteurs est que les fossiles dont l'endocrâne est exploitable sont encore trop peu nombreux, ce qui oblige à prendre en considération des spécimens qui ne sont pas contemporains des outils de Lomekwi ou qui ne proviennent pas de la même région. Ainsi *Australopithecus sediba* est plus récent (entre 1,95 et 1,78 million d'années), de même que les Paranthropes dont le plus ancien spécimen connu en Éthiopie date de 3 millions d'années tandis le *Paranthropus robustus* analysé par les auteurs n'est connu qu'à partir de 2,2 millions d'années et en Afrique du Sud. De plus, si *Australopithecus africanus* est bien contemporain des outils de Lomekwi (entre 3,5 et 2 millions d'années), il n'a été identifié qu'en Afrique du Sud. Enfin, le spécimen KNM-ER 1470 attribué à *Homo rudolfensis* provenant de la région de Koobi Fora, au Kenya, date de 1,88 million d'années, tandis que KNM-ER 1805, daté de 1,85 million d'années et provenant de la même région, est mal identifié et pourrait être aussi bien un représentant ancien du genre *Homo* (*H. habilis* ?) qu'un spécimen évolué d'Australopithèque (Holloway *et al.*, 2014). Il faut donc partir du postulat que les crânes de ces différents hominines n'ont pas beaucoup évolué dans le temps ni d'un bout à l'autre du continent africain, ce qui paraît délicat.

On voit à quel point toutes ces méthodes d'investigation sont prometteuses mais on mesure aussi leurs limites, principalement liées au manque de fossiles exploitables. Gageons que ce problème sera résolu dans les prochaines décennies, étant donné le rythme des nombreuses découvertes de fossiles depuis les trente dernières années. Les connaissances sur la chronologie de la réorganisation du cerveau au cours de notre évolution en seront enrichies mais les débats n'en resteront pas moins vifs, la part d'interprétation étant inhérente à la paléanthropologie et à la préhistoire en général (de Beaune, 2016).

DES VESTIGES ARCHÉOLOGIQUES AUX PROCESSUS COGNITIFS EN JEU

On voit bien à travers ces études qu'on ne peut négliger les productions du cerveau pour comprendre l'évolution des aptitudes cognitives. Les éléments de la culture matérielle sont les produits intellectuels de leurs créateurs et ils ne peuvent avoir été conçus sans les capacités cognitives appropriées. Une des approches possibles est donc de tenter de modéliser les actions que l'on peut inférer à partir des vestiges archéologiques et d'en déduire les aptitudes cognitives indispensables à leur mise en œuvre.

Miriam Haidle a ainsi modélisé les actions (buts et sous-buts), impliquées par la fabrication et l'utilisation d'outils préhistoriques à partir de l'étude de la résolution de problèmes, plus particulièrement de la distance entre la formulation d'un problème et sa résolution. Un processus est lancé pour satisfaire un besoin et s'achève par la satisfaction (ou non) de ce besoin. Elle compte ainsi cinq étapes principales pour la fabrication d'une lance en bois semblable à celle trouvée à Schöningen, en Allemagne, site daté de 300 000 ans : le choix d'un percuteur en pierre (1) pour produire un autre outil comme un grattoir ou un couteau (2), qui servira lui-même à produire une arme – la lance en bois – (3), laquelle sera manipulée pour chasser un animal (4) qui satisfera le besoin du sujet, c'est-à-dire sa faim (5). Ces étapes comprennent elles-mêmes plusieurs sous-étapes. Rien que pour la fabrication de la lance elle-même, on compte de nombreuses sous-étapes : sélection de l'arbre (pin ou if), abattage, élagage des branches latérales, lissage de la base des branches, suppression de l'écorce, façonnage de la lance et régularisation de sa surface de la lance et enfin taille de la pointe (Haidle, 2009).

Miriam Haidle a mis au point des diagrammes, qu'elle a appelé des cognigrammes, permettant de coder les processus de réflexion et d'action en partant du besoin à satisfaire au départ et en mettant en évidence les différentes étapes pour satisfaire ce besoin. On note d'ores et déjà que la distance entre le problème et la solution augmente au cours du temps avec des actions intermédiaires de plus en plus nombreuses et complexes pour parvenir au but final. Par exemple, pour produire un galet aménagé, la chaîne d'opérations comprend quatre éléments : un outil (percuteur) pour produire un outil (galet taillé) pour manipuler un objet (viande à découper ou carcasse à débiter) afin de satisfaire le besoin du sujet (faim) – par opposition à une chaîne de seulement trois éléments dans le cassage de noix pratiqué par certains chimpanzés – un outil (percuteur) pour manipuler un objet (la noix) afin de satisfaire le besoin du sujet (faim).

Miriam Haidle et Regine Stolarczyk (ce numéro) présentent la méthode des cognigrammes et en livrent quelques exemples concernant des comportements techniques humains et non humains. Elles analysent ainsi le cognigramme des premiers outils taillés retrouvés à Lomekwi, au Kenya, déjà évoqués, et comparent sa complexité à celle de l'usage d'une brindille pour attraper un insecte par un corbeau néo-calédonien. De la même manière, elles comparent les buts et les sous-buts recherchés par des chimpanzés cassant des noix et ceux d'un tailleur de pierre utilisant la technique de débitage bipolaire.

Pour finir, les auteurs se livrent à une auto-évaluation afin d'explorer le potentiel de la méthode et d'en cerner les limites d'application. Elles font à juste titre remarquer qu'il arrive souvent qu'un problème puisse être résolu de différentes manières, ce qui interroge sur la validité de la reconstruction des séquences d'action et de leurs représentations dans les cognigrammes. Il faut donc garder à l'esprit qu'il ne s'agit que d'hypothèses et non d'observations en temps réel. Malgré la subjectivité inévitable dans l'élaboration des cognigrammes, leur caractère systématique peut aider à formaliser les opérations techniques et à les comparer de manière intelligible, à condition de prendre en compte le même niveau de détail. Une autre limite de la méthode est qu'elle ne considère que les problèmes matériels liés à la subsistance et les

actions orientées vers leur résolution, sans envisager que de nombreuses actions sont mues par d'autres motivations comme le désir ou la satisfaction d'une vie collective partagée. Dernière critique, et non des moindres, ces analyses d'opérations techniques ne sont pas situées dans leur contexte, ce qui veut dire que sont mises sur le même plan une action réalisée pour la première fois et une action maintes fois réitérées par un « expert » en la matière. Or cette différence a forcément une incidence sur le fonctionnement cognitif. Ce sont ces quelques inconvénients que les auteurs vont s'appliquer à pallier dans leurs recherches futures (Haidle et Stolarczyk, ce numéro). Quoiqu'il en soit, ces diagrammes restent aujourd'hui un des seuls moyens reproductibles pour visualiser et quantifier de manière exhaustive des tâches cognitives complexes.

Nous avons vu précédemment qu'une des questions qui reste pour l'instant sans réponse est celle de la transformation graduelle de la forme du cerveau d'*Homo sapiens* dont on se demande s'il ne faudrait pas la relier à une modification de ses aptitudes cognitives. Les témoins archéologiques peuvent-ils nous aider à y répondre ? C'est la démarche entreprise par Lyn Wadley (ce numéro), qui s'est consacrée à l'étude fine des activités techniques des anciens *Homo sapiens* ayant occupé l'Afrique du Sud il y a quelque 100 000 ans. La tendance a longtemps été, pour des raisons historiques teintées d'eurocentrisme, de considérer qu'il fallait attribuer notre cognition actuelle aux hommes arrivés en Europe il y a environ 40 000 ans avec l'émergence des premières manifestations artistiques incontestables⁴. Lyn Wadley montre que l'approche consistant à ne tenir compte que de la réalisation d'œuvres d'art figuratives est réductrice et qu'il faut cerner de près les activités de la vie quotidienne pour y déceler des preuves que la complexité cognitive en jeu était, il y a 100 000 ans, comparable à celle de l'homme actuel. L'observation d'indices matériels suffit à montrer que ces anciens *Homo sapiens* d'Afrique du Sud fabriquaient des armes et des outils composites assemblés à l'aide de colles ou de mastics, qu'ils concevaient des pièges pour capturer du petit gibier nocturne, qu'ils chauffaient la pierre pour en améliorer les qualités en vue de leur taille, qu'ils cuisaient leur viande, etc. Or, la réalisation de ces diverses tâches suppose la maîtrise d'aptitudes cognitives particulières.

Rien que la fabrication d'objets composites suppose une capacité de planification avancée et de gratification retardée, celle-ci correspondant à l'aptitude à l'action différée qui suppose une inhibition de la réponse (savoir attendre pour obtenir un meilleur résultat !). Il faut aussi disposer de la flexibilité dans la résolution de problèmes indispensable pour s'adapter aux imprévus, de la pensée abstraite qui consiste à associer mentalement les différents ingrédients et à visualiser le produit fini bien avant sa confection et enfin la capacité à déplacer par la pensée les objets dans l'espace pour les emmancher (capacité aujourd'hui utilisée par les psychologues pour mesurer les performances mémorielles).

L'existence de pièges peut être déduite indirectement à partir de la présence de restes de faune nocturne dangereuse qui ne pouvait être chassée en

⁴ On sait aujourd'hui que ce ne sont pas les représentations figuratives les plus anciennes puisque des peintures pariétales représentant des animaux et même des scènes narratives datées entre 40 000 et 50 000 ans ont été récemment découvertes dans deux grottes en Indonésie (Aubert *et al.*, 2018 et 2019).

l'absence d'éclairage et d'armes sophistiquées. Du point de vue cognitif, cela suppose l'aptitude à réaliser une opération à distance et différée dans le futur, la mémorisation, la rapidité d'action. La capture d'un animal hors de vue implique ainsi la planification et la gratification différée.

D'autres aptitudes telles que le raisonnement analogique peuvent être déduites à partir des vestiges culinaires. Ce type de raisonnement était nécessaire lorsque de nouveaux aliments et de nouvelles plantes étaient découverts en territoire inconnu. Il fallait alors faire des comparaisons mentales, par exemple, entre les ressources végétales connues et les nouvelles plantes qui étaient susceptibles d'avoir des attributs comparables (Wadley, ce numéro). L'aptitude au raisonnement analogique est probablement beaucoup plus ancienne puisqu'il entre en jeu très tôt dans l'invention technique. De nouveaux outils ou de nouveaux gestes techniques sont ainsi nés non d'une accumulation de connaissances ou d'une invention *ex nihilo*, mais de glissements tels que la fusion de deux gestes déjà connus, ou l'utilisation d'un geste déjà connu sur un nouveau matériau, ou encore l'utilisation d'un outil déjà connu en un geste réservé jusque-là à un autre outil. À chaque fois, le processus conduisant à l'invention par transfert, fusion ou glissement de deux éléments disjoints revient à combiner d'une manière nouvelle des éléments déjà présents (de Beaune, 2009, 2011).

Par ces quelques exemples, on voit que de nombreuses aptitudes cognitives étaient nécessaires pour réaliser ces actions quotidiennes, sans compter d'autres telles que la faculté de faire plusieurs choses à la fois, ce que les psychologues de la cognition appellent le multi-tâche (*multitasking*). Lyn Wadley réunit l'ensemble de ces attributs – pensée abstraite, raisonnement analogique, multitâche, fluidité cognitive, inhibition de la réponse (c'est-à-dire gratification retardée), planification détaillée et séquentielle et expérimentation mentale – sous le terme de « complexité cognitive ». Il n'est pas impossible qu'elle ait été en place avant 100 000 ans, mais les preuves archéologiques sont trop minces pour pouvoir l'affirmer. À moins que les innovations n'aient eu un effet cumulatif et se soient accélérées après 100 000 ans (Wadley, sous presse). En effet, chaque activité et chaque invention sont susceptibles d'avoir créé une situation de rétroaction qui a pu contribuer à développer davantage le cerveau humain.

APPROCHE ONTOGÉNÉTIQUE

L'étude de l'émergence de la cognition humaine peut aussi s'appréhender d'un point de vue ontogénétique, c'est-à-dire de la naissance jusqu'à l'âge adulte. Lauriane Rat-Fischer présente ici la panoplie des méthodes utilisées pour étudier le développement des capacités cognitives des enfants au cours de leur croissance. Elles se fondent sur l'observation et sur l'expérimentation. L'observation a été utilisée très tôt par Darwin au XIX^e siècle mais aussi plus récemment, par Piaget. L'expérimentation s'est développée au cours de la seconde moitié du XX^e siècle et a considérablement évolué depuis grâce au paradigme de l'habituation, qui permet d'observer la perception du changement chez des enfants et même chez des nouveau-nés. Basée au départ sur le temps de regard comme mesure comportementale, elle s'appuie aujourd'hui sur d'autres indices comportementaux comme l'activité oculaire ou encore les variations du rythme de succion. Des techniques d'imagerie

cérébrale comme la spectroscopie par infra-rouge (NIRS, *near infrared spectroscopy*, mesurant indirectement l'activité cérébrale à partir du niveau d'oxygénation cérébrale) et l'électroencéphalographie consistant à enregistrer l'activité électrique du cortex ont contribué à révolutionner les expérimentations dans le domaine de la psychologie du développement (Obrig & Vilringer, 2002 ; Rat-Fischer, ce numéro).

Parmi les principales difficultés rencontrées, on note celle d'étudier les capacités cognitives d'un individu en constant changement, avec la plasticité des connexions neuronales qui se prolonge jusqu'à l'âge adulte, la difficile prise en compte de l'expérience individuelle ou encore l'évaluation complexe des capacités cognitives d'un sujet n'ayant pas encore développé le langage et ne pouvant par conséquent exprimer verbalement ses perceptions et raisonnements. Et cela sans compter les obstacles éthiques qui font que de nombreuses expérimentations ne peuvent être pratiquées afin de ne pas perturber le développement de l'enfant.

La question plus spécifique des processus de changements depuis la petite enfance jusqu'à l'âge adulte peut être abordée de manière transversale ou longitudinale. Dans le premier cas, on compare différents groupes de bébés ou d'enfants afin d'établir l'âge moyen à partir duquel une capacité est observée ou l'effet d'un ou plusieurs facteurs précis sur leurs capacités. Dans le second, on suit un même groupe d'individus sur une période de temps donné. Si, dans ces deux types d'étude, les chercheurs peuvent observer les *résultats* des changements, il leur est souvent difficile voire impossible d'observer le *processus* aboutissant au changement observé. D'où l'idée de développer une approche microgénétique, qui consiste à observer la mise en place d'une capacité sur une période relativement courte, une fois que le moment précis de son développement a été identifié.

Depuis les débuts de la psychologie du développement, de nombreuses questions se sont posées concernant les liens entre le développement (ontogénèse) et l'évolution (phylogénèse), la nature et les mécanismes de l'apprentissage, ou encore le poids de l'héritage génétique par rapport à l'influence extérieure. Certains chercheurs ont même avancé l'idée, introduite par Ernst Haeckel (1877), que les stades du développement cognitif de la naissance à l'âge adulte reflèteraient les différentes étapes évolutives de la cognition humaine. Si cette théorie a été largement décriée, ce n'est que tout récemment que certains chercheurs ont tenté d'appliquer des concepts liés à l'évolution à l'étude du développement ontogénétique. L'idée est que certaines capacités des bébés et des enfants auraient été sélectionnées de façon adaptative parce qu'elles les préparent bien à certaines étapes spécifiques du développement, et que la plasticité des comportements résulterait de la sélection naturelle (Bjorklund, 2018). Selon cette nouvelle discipline, la psychologie développementale évolutive, les comportements des adultes doivent être considérés comme une réponse adaptative aux conditions de leur développement au cours de leur enfance.

Ces travaux sur le développement ontogénétique des capacités cognitives gagnent à être mis en perspective avec les travaux récents en robotique développementale. À l'intersection de la robotique, des sciences cognitives et de la psychologie développementale, la robotique développementale consiste à

utiliser des robots comme outils de recherche pour tester des modèles de développement incarné, c'est-à-dire tenant compte de l'environnement physique (expérience motrice, corporelle et environnementale) et social, et ainsi progresser dans la compréhension des mécanismes d'apprentissage sur les plans sensorimoteur, cognitif et/ou social (Khamassi & Doncieux, 2016). Il est ainsi possible d'explorer différentes hypothèses développementales en faisant varier les paramètres de ces modèles (y compris ceux liés aux contraintes physiques) ainsi que les mécanismes impliqués, soit au travers de simulations algorithmiques, soit en appliquant directement ces modèles chez des robots (Rat-Fischer, ce numéro).

Est-il possible d'appréhender l'évolution ontogénétique de la cognition humaine chez les anciens hominés ? Antoine Balzeau (ce numéro) a relevé le défi et tente ici de réunir les éléments permettant d'y répondre. Les techniques de numérisation et de reconstitution en 3D de l'endocrâne sont susceptibles d'apporter des informations sur la croissance des anciens hominés et l'évolution de leurs aptitudes cognitives au cours de leur développement à partir de l'examen de spécimens immatures.

Rappelons qu'une des caractéristiques du cerveau de l'homme actuel est sa longue durée de croissance. Son volume à la naissance ne représente que 25 % de celui de l'adulte, et son développement se poursuit après la naissance à une vitesse embryonnaire. Rapportée à la masse corporelle, la masse cérébrale double pendant la première année, suivant une progression identique à celle observée *in utero*. Il atteint 85 % de son poids adulte seulement vers 4 ans et sa croissance, plus lente, se poursuit pendant un minimum de 10 ans. Pour comparaison, le volume du cerveau du chimpanzé représente à la naissance 40 % de celui de l'adulte et sa croissance est pratiquement terminée vers 2 ans.

Ce lent développement chez l'homme implique une période de dépendance prolongée qui correspond à une durée d'apprentissage inégale chez les primates. Cette situation particulière dans le règne animal résulte d'un compromis entre la croissance de l'encéphale et des contraintes physiologiques obstétricales et locomotrices. C'est ce qu'on appelle l'altricialité secondaire, c'est-à-dire le développement différé du cerveau, qui fait que l'essentiel de la croissance cérébrale se produit après la naissance, alors que le nouveau-né et le jeune enfant perçoivent le monde extérieur et interagissent déjà avec les membres de leur groupe social. Cette interaction entre environnement et développement du système nerveux central joue un grand rôle dans la maturation cérébrale alors même que l'enfant fait preuve d'une très grande plasticité. C'est en particulier pendant cette longue période de développement cérébral dans le milieu extra-utérin que le jeune enfant acquiert le langage. Ainsi, plus le cerveau est immature à la naissance, plus l'apprentissage est flexible et adaptatif (Hublin, 2003).

Jean-Jacques Hublin avance l'hypothèse que le modèle de développement de l'altricialité secondaire qui est propre aux humains se serait mis en place entre 1 million d'années et 100 000 ans (Hublin, 2005). Mais cette évolution a pu être initiée encore plus tôt si l'on en croit les données fournies par la comparaison du volume crânien de Dikika, petite Australopithèque âgée de 2,4 ans d'après sa croissance dentaire, avec ceux d'individus adultes de la même espèce *Australopithecus afarensis*. Elle a montré que la période de

croissance cérébrale y était plus longue que celles des grands singes actuels, et que les Australopithèques étaient en cela plus proches des représentants plus récents du genre *Homo*. Ce délai pourrait avoir été lié à une plus longue enfance, propice à la mise en place d'un apprentissage prolongé (Balzeau, ce numéro).

Quelques cas de fossiles anciens d'enfants dont l'endocrâne a été préservé ont aussi pu être étudiés. Mais Antoine Balzeau souligne ici combien il est difficile d'estimer leur âge au décès, les méthodes telles que celle qui a pu être utilisée sur la croissance des dents de Dikika n'étant pas toujours possibles sur d'autres fragments crâniens. Dans ces cas, seule la comparaison morphologique permet une estimation de l'âge. La difficulté vient aussi du fait que ces fossiles d'enfant sont extrêmement rares, moins d'une dizaine pour l'espèce *Homo erectus* au sens large. Leur observation apporte malgré tout des informations utiles. Par exemple, l'endocrâne de l'enfant *Homo erectus* de Mojokerto partage certaines similarités avec celui des *Homo sapiens* adultes, comme la hauteur cérébrale relative, l'enroulement des lobes frontaux, leur faible extension postérieure, le développement relatif important des lobes pariétaux et une globularité marquée. Il est ainsi possible que la croissance du cerveau chez les *Homo erectus* s'effectuait selon une trajectoire différente de celle observée chez les *Homo sapiens*. On peut en conclure provisoirement que, si les modalités de croissance du cerveau des autres espèces humaines semblent différentes de celles des *Homo sapiens*, cela ne signifie pas qu'elles étaient forcément moins efficaces et moins fonctionnelles. L'étude de la croissance du cerveau chez les espèces humaines passées n'en est qu'à ses débuts (Balzeau, ce numéro).

LA COGNITION ANIMALE

Les données fournies par la cognition animale peuvent être d'un grand secours tant pour l'étude du développement ontogénétique de l'homme que celle de son évolution phylogénétique.

Les spécialistes du développement de l'intelligence chez l'enfant s'intéressent en effet à la cognition comparée, qui consiste à étudier le fonctionnement cognitif de diverses espèces animales (en particulier les rongeurs et les primates, et plus récemment les corvidés) afin de mieux comprendre le fonctionnement cognitif de l'homme (Rast-Fischer, ce numéro). L'apprentissage, la résolution de problèmes et la mémoire ont particulièrement retenu l'attention des chercheurs. L'un des pionniers dans ce domaine a été Wolfgang Köhler (1925) qui a étudié la résolution de problèmes par des chimpanzés élevés en captivité. L'idée, poursuivie par la suite, était de mettre en évidence les stades cognitifs atteints par différentes espèces, en se fondant sur les stades définis par Piaget, et en particulier sur le premier d'entre eux, le stade sensori-moteur préverbal (Piaget, 1936). Les conditions d'observation se font aujourd'hui plutôt en milieu naturel, ce qui enlève un biais à l'étude. De plus, les techniques d'imagerie évoquées plus haut sont aussi utilisées pour explorer les aires cérébrales activées chez les primates non humains lors de la réalisation de certaines tâches (par ex. Hecht, 2019 ou, pour une comparaison, voir, Beaudet et Fonta, ce numéro).

Cette approche comparative pose malgré tout plusieurs problèmes, d'abord parce qu'il faut tenir compte de la pertinence, d'un point de vue écologique et adaptatif, de la capacité étudiée. Ainsi si certaines espèces n'ont pas développé l'utilisation d'outils, cela ne signifie pas nécessairement qu'elles n'ont pas les aptitudes cognitives nécessaires. Il se peut en effet que l'utilisation d'outils n'ait pas présenté d'avantage adaptatif particulier dans la niche écologique où ces espèces évoluaient. Ainsi, le fait qu'une capacité n'a pas été observée chez une espèce donnée n'implique pas forcément que les processus mentaux qui lui sont associés sont absents. Une autre difficulté réside dans le fait que, pour pouvoir s'assurer que l'on teste bien les mêmes fonctions cognitives entre deux espèces, on considère qu'il est nécessaire que les espèces comparées soient étudiées à l'aide de protocoles expérimentaux identiques (Vauclair, 2001). Or cela n'est pas toujours possible lorsque ce sont des espèces très éloignées, comme le sont les primates et les oiseaux. Lauriane Rat-Fischer développe plusieurs exemples qui permettent de mieux saisir les limites de ces différentes approches (ce numéro).

Du côté de l'étude phylogénétique des aptitudes cognitives, le recours à la cognition animale vise à comprendre ce que nous avons en commun avec nos plus proches cousins, les primates non humains, ou au contraire ce qui nous en distingue. L'objectif est d'apporter des informations sur ce que nous avons déjà en commun avant la séparation de la lignée des hominidés de celle des paninés (gorilles et chimpanzés), il y a 7 à 8 millions d'années. Ces recherches invitent ainsi à chercher les continuités et les ruptures entre primates humains et non humains tant au niveau de leurs comportements et de leurs aptitudes manuelles que de leurs « facultés mentales »⁵. Sue Taylor Parker et Michael L. McKinney (1999) comparent ainsi les compétences cognitives à la fois sociales et écologiques des primates humains et non humains pour tenter de déterminer ce qui les sépare. En plaçant sur un arbre les habiletés d'espèces sœurs, ils tentent de déterminer quel est l'ancêtre qui a le premier développé de nouvelles habiletés. Leur échelle de mesure est là aussi celle de Piaget et ils parviennent à la conclusion que, étant donné le fossé cognitif qui sépare l'homme des grands singes (qui se seraient arrêtés au stade piagétien préopérateur), on peut supposer qu'un grand nombre de capacités cognitives sont apparues après la divergence entre les singes africains et les hominidés.

Pourtant, si nous comparons les *Homo sapiens* et les grands singes actuels, il apparaît que nous partageons avec eux de nombreuses aptitudes et que les différences sont bien souvent plus d'ordre quantitatif que qualitatif. Ce qui tend au contraire à montrer que nos propres aptitudes ont été très anciennement acquises. Certains animaux possèdent des éléments communs aux comportements humains, mais aucun n'atteint le degré d'accomplissement observé chez l'homme, et ce, dans quelque domaine que ce soit – vocal, gestuel, imitatif, technique ou social. Et aucune autre espèce ne combine des comportements sociaux, techniques et linguistiques, en un complexe cognitif aussi riche, interactif et qui se nourrit lui-même. Certains ont cherché à expliquer pourquoi les primates non humains n'ont pas développé davantage

⁵ La bibliographie à ce sujet est énorme. Citons par exemple Byrne, 1995 ; Tomasello & Call, 1997 ; Avital & Jablonka, 2000 ; McGrew, 1992.

leur potentiel cognitif. Les hypothèses sont nombreuses et je n'en citerai ici que deux. Pour Michael Tomasello (1999), l'évolution cognitive de l'homme et son adaptation toujours plus efficace à son environnement sont directement liées à sa capacité à accumuler les connaissances. C'est ce qu'il appelle l'évolution culturelle cumulative. Et si les connaissances s'accumulent, c'est grâce à leur adoption et à leur transmission sur plusieurs générations, permises par ce que Tomasello appelle l'« effet cliquet », phénomène indispensable empêchant que l'on ne reparte en arrière. C'est pourquoi, même s'il arrive que des primates non humains fassent preuve d'innovations comportementales ou techniques, leurs congénères ne s'engagent pas dans l'apprentissage social qui permettrait que le cliquet culturel fasse son œuvre. Pour John L. Bradshaw (1997), c'est l'intelligence sociale ou machiavélique – qui conduit en particulier au besoin de guetter les actions des autres – qui a joué un rôle majeur dans l'évolution du langage et de la conscience. Cela conduit aux hypothèses selon lesquelles ce serait la théorie de l'esprit, c'est-à-dire la capacité à inférer des intentions à autrui, qui aurait déclenché l'évolution cognitive uniquement chez les primates humains que nous sommes.

Une des limites de ses différentes approches est que nous devrions comparer les aires cérébrales et les compétences cognitives des anciens hominés avec celles des anciens paninés et non avec les paninés actuels (Beaudet et Fonta, ce numéro), mais nous ne savons pas grand-chose des ancêtres des chimpanzés. Or les rares études à ce sujet indiquent bien qu'ils ont évolué de leur côté (Mercader *et al.*, 2007). Antoine Balzeau (ce numéro) fait très justement remarquer que le cerveau d'un chimpanzé n'a rien d'archaïque, et qu'il a évolué autant que le nôtre, il n'est donc pas celui de notre lointain ancêtre. Autre écueil, un certain nombre de modèles explicatifs, que je ne peux développer ici faute de place⁶, aussi intéressants soient-ils, sont tous assez spéculatifs et difficiles à tester à partir des données archéologiques et paléanthropologiques dont on dispose.



Mieux saisir les fondements de ce qui fait notre dispositif cognitif passe par la compréhension de la manière dont il s'est mis en place. Nous avons vu qu'il existe des voies multiples pour tenter d'y parvenir. Le recours à toute une panoplie de disciplines variées, telles que la neuroimagerie, l'archéologie, la paléogénétique, la paléanthropologie, la psychologie, la psychologie du développement, voire la cognition animale, et le croisement des données qu'elles génèrent, est essentiel pour espérer établir un consensus scientifique autour de cette question. Mais avant toute chose, il est indispensable de pouvoir compter sur des données paléanthropologiques et archéologiques suffisamment nombreuses et fiables. C'est pourquoi cette quête est loin d'être achevée, mais le perfectionnement constant des nouvelles technologies à la disposition des chercheurs et la multiplication des découvertes depuis les années 1990 ont de quoi nous rendre optimistes pour les décennies à venir.

⁶ Pour une revue de certaines de ces hypothèses, voir de Beaune, 2011.

RÉFÉRENCES

- Anderson, M. (2014). *After Phrenology. Neural Reuse and the Interactive Brain*. Cambridge, Mass., The Mit Press.
- Aubert, M. *et al.* (2018). Palaeolithic cave art in Borneo. *Nature*, 564, 254-257. doi.org/10.1038/s41586-018-0679-9
- Aubert, M. *et al.* (2019). Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature*, 576, 442-445. doi.org/10.1038/s41586-019-1806-y
- Avital, E. & Jablonka, E. (2000). *Animal Traditions. Behavioural Inheritance in Evolution*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Barbey, A. *et al.* (2012). An integrative architecture for general intelligence and executive function revealed by lesion mapping. *Brain*, CXXXV, 4, 1-11.
- Beaune, S.A. de (2009). Technical invention in the Palaeolithic: what if the explanation comes from the cognitive and neuropsychological sciences? In S.A. de Beaune, F.L. Coolidge & T. Wynn (dir.), *Cognitive Archaeology and Human Evolution*. New York, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 3-14.
- Beaune, S.A. de (2011). L'émergence des capacités cognitives chez l'homme. 1, Les premiers hominés. 2, Les Néandertaliens. 3, Le processus de l'invention : approche cognitive. In R. Treuil (dir.), *L'Archéologie cognitive*. Paris, Maison des Sciences de l'Homme, partie I, pp. 33-90.
- Beaune, S.A. de (2016). *Qu'est-ce que la Préhistoire ?* Paris, Gallimard (Folio histoire).
- Beaune, S.A. de & Balzeau, A. (2016). *Notre Préhistoire. La grande aventure de la famille humaine*. Paris, Belin.
- Berlucchi, G. & Vallar, G. (2018). The history of the neurophysiology and neurology of the parietal lobe", *Handbook of Clinical Neurology*, 151, 3-30. doi:10.1016/B978-0-444-63622-5.00001-2
- Bjorklund, D.F. (2018). A metatheory for cognitive development (or "Piaget is dead" revisited). *Child Development*, 89, 2288-2302. doi:10.1111/cdev.13019.
- Byrne, R.W. (1995). *The Thinking Ape. Evolutionary Origins of Intelligence*. Oxford, Oxford University Press.
- Bradshaw, J.L. (1997). *Human Evolution. A Neuropsychological Perspective*. London, New York, Psychology Press Ltd, Taylor & Francis Group.
- Buckner, R.L. (2013). The cerebellum and cognitive function: 25 years of insight from anatomy and neuroimaging". *Neuron*, 80, 3, 807-815, doi:10.1016/j.neuron..10.044
- Dehaene, S. (2003). Les bases cérébrales d'une acquisition culturelle : la lecture. In J.-P. Changeux (dir.), *Gènes et Culture. Symposium annuel du Collège de France*. Paris, éditions Odile Jacob, pp. 187-199.
- Duffau, H. (2016). *L'Erreur de Broca. Exploration d'un cerveau éveillé*. Neuilly-sur-Seine, Michel Lafon.
- Gould, S.J. & Vrba, E. (1982). Exaptation – a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8, 4-15.
- Grimaud-Hervé, D., Serre, F., Bahain, J.-J. & Pigeaud, R. (2015). *Histoire d'Ancêtres. La grande aventure de la Préhistoire*. Paris, Errance, [5^e éd. revue et augmentée].
- Haeckel, E. (1877). *Anthropogénie ou histoire de l'évolution humaine : leçons familières sur les principes de l'embryologie et de la phylogénie humaines*. Paris, C. Reinwald.
- Haidle, M.N. (2009). How to think a simple spear?. In S.A. de Beaune, F.L. Coolidge & T. Wynn (eds.), *Cognitive Archaeology and Human Evolution*. New York, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 57-73.
- Harmand, S. *et al.* (2015). 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature*, 521, 7552, 310-315.

- Hecht, E. (2019). The evolution of neural systems for action perception and tool use. In H. de Lumley & P.-M. Lledo (dir.), *Évolution du cerveau et des capacités cognitives des hominidés fossiles*. Paris, CNRS Éditions, pp. 173-179.
- Holloway, R.L., Broadfield, D.C. & Yuan, M.S. (2004). *The Human Fossil Record. III. Brain Endocasts. The Paleoneurological Evidence*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Hublin, J.-J. (2003). Évolution des Hominidés et troubles de la cognition. In J.-P. Changeux (dir.), *Gènes et culture. Enveloppe génétique et variabilité culturelle*. Symposium annuel, Paris, Odile Jacob, pp. 17-33.
- Hublin, J.-J. (2005). La langue des premiers hommes. In J.-M. Hombert (dir.), *Aux origines des langues et du langage*. Paris, Fayard, pp. 102-117.
- Hublin, J.-J., Ben-Ncer, A., Bailey S.E. et al. (2017). New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of *Homo sapiens*. *Nature*, 546, 7657, 289-292. doi.org/10.1038/nature22336
- Jacob, F., (1981). *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant*. Paris, Fayard.
- Khamassi, M. & Doncieux, S. (2016). Nouvelles approches en robotique cognitive. *Intellectica*, 65, 1, 7-25.
- Köhler, W. (1925). *The Mentality of Apes*. London, Kegan Paul, Trench & Trubner.
- Lambert, D. & Rezsöházy, R. (2004). *Comment les pattes viennent au serpent. Essai sur l'étonnante plasticité du vivant*. Paris, Flammarion (Nouvelle bibliothèque scientifique).
- Le Bihan, D. (2018). Que voit-on (ou pas) en IRM ? In C. Monier & A. Sarti (eds), *Les Neurosciences au sein des sciences de la cognition entre neuroenthousiasme et neuroscepticisme*, *Intellectica*, 69, 1-2, 187-200.
- McGrew, W.C. (1992). *Chimpanzee Material Culture: Implications for Human Culture*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Mercader, J., Barton, H., Gillespie, J. et al. (2007). 4,300-year-old chimpanzee sites and the origins of percussive stone technology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 9, 1-7, doi: 10.1073/pnas.0607909104
- Neubauer, S., Hublin, J.-J. & Gunz, P. (2018). The evolution of modern human brain shape. *Science Advances*, IV, 1, eaao5961, doi :10.1126/sciadv.aao5961
- Obrig, H. & Villringer, A. (2003). Beyond the – imaging the human brain with light. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 23, 1, 1-18. doi:10.1097/01.WCB.0000043472.45775.29
- Parker, S.T. & McKinney, M.L. (1999). *Origins of Intelligence. The Evolution of Cognitive Development in Monkeys, Apes and Humans*. Baltimore & London, The Johns Hopkins University Press.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- Richter, D., Grün, Rainer, R., Joannes-Boyau et al. (2017). The age of the hominin fossils from Jebel Irhoud, Morocco, and the origins of the Middle Stone Age. *Nature*, 546, 293–296. doi.org/10.1038/nature22333
- Skinner, M.M., Leakey, M.G., Leakey, L.N., Manthi, F.K. & Spoor, F. (2020). Hominin dental remains from the Pliocene localities at Lomekwi, Kenya (1982-2009). *Journal of Human Evolution*, 145. doi.org/10.1016/j.jhevol.2020.102820
- Stout, D. & Chaminade, T. (2012). Stone tools, language and the brain evolution. *Philos. Trans. R. Soc. London. B*, 367, 75-87. doi.org/10.1098/rstb.2011.0099
- Tomasello, M. (1999). *The Cultural Origins of Human Cognition*. Cambridge, Harvard University Press.
- Tomasello, M. & Call, J. (1997). *Primate Cognition*. New York, Oxford, Oxford University Press.
- Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T. & Moll, H. (2005). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 28, 5, 675-691. doi.org/10.1017/S0140525X05000129

- Vauclair, J. (2001). Contraintes de comparaison des processus cognitifs chez le primate humain et non humain. *Cognito*, 20, 1-10.
- Wadley, L. What stimulated rapid, cumulative innovation after 100,000 years ago? *Journal of Archaeological Method and Theory*. Sous presse.