

Un dinosaure chinois à quatre ailes

Les gisements fossilifères du Crétacé inférieur (il y a 120 millions d'années) de la province du Liaoning (Nord-Est de la Chine) n'ont pas fini d'étonner le monde paléontologique. Outre des centaines de spécimens d'oiseaux primitifs, ils ont déjà livré les restes de divers dinosaures au corps couvert de plumes plus ou moins évoluées, ce qui apporte une confirmation éclatante à la thèse de l'origine dinosaurienne des oiseaux. De nouveaux spécimens qui viennent d'être décrits dans la revue *Nature* par Xing Xu, Zhonghe Zhou et leurs collègues, de l'Institut de paléontologie et de paléoanthropologie de l'Académie des sciences chinoise, sont plus extraordinaires encore, car ils indiquent comment les ancêtres des oiseaux commencèrent à voler.

Les sédiments lacustres au grain très fin de la formation Jiufotang ont livré aux paléontologues chinois plusieurs spécimens remarquablement conservés d'un petit dinosaure dont les caractères squelettiques montrent qu'il s'agit d'un membre de la famille des Dromaeosauridés. L'animal a reçu nom de *Microraptor* (le « petit voleur ») *gui* en l'honneur du paléontologue chinois Gu Zhiwei. Comme d'autres dinosaures de ces sites du Liaoning, les fossiles en question comportent aussi les restes des plumes qui couvraient le corps de l'animal. Toutefois, leur disposition est étonnante. Similaires aux rémiges (grandes plumes rigides) des oiseaux actuels, de longues plumes sont attachées non seulement aux membres antérieurs, mais aussi aux membres postérieurs et le long de la queue ; cette dernière est très allongée, comme chez l'oiseau primitif *Archéoptéryx*. La présence de rémiges sur les membres postérieurs, et cela jusqu'au niveau du métatarse, est surprenante, car elle indique que les pattes arrière formaient aussi des ailes. Il faut se représenter un dinosaure à quatre ailes... ou à cinq en comptant la queue !

Aujourd'hui, une telle conformation n'existe plus. Les oiseaux ont certes des ailes qui ressemblent à celles de *Microraptor gui*, et qui leur servent à pratiquer le vol battu, mais leurs pattes arrière ne sont pas équipées de rémiges. Comment ce dinosaure ailé pouvait-il se déplacer ? Xing Xu et ses collègues supposent, de façon tout à fait vraisemblable, qu'il devait planer, en utilisant les vastes surfaces portantes constituées par ses quatre ailes et sa queue. Sans

doute pouvait-il se lancer de branche en branche comme le font aujourd'hui les écureuils volants grâce aux membranes tendues entre leurs pattes. Il est peu probable qu'il ait couru rapidement lorsqu'il était au sol, car ses longues plumes postérieures devaient le gêner.

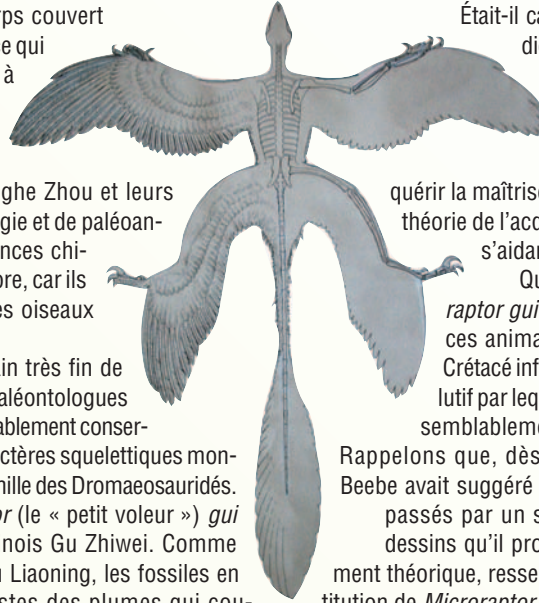
Était-il capable de battre des ailes ? Il faudra étudier ses articulations pour en juger.

La découverte d'un tel dinosaure renforce l'hypothèse suivant laquelle les ancêtres des oiseaux sont passés par un stade arboricole et planeur, avant d'acquiescer la maîtrise du vol battu. Elle affaiblit au contraire la théorie de l'acquisition du vol par des animaux coureurs s'aidant de leurs bras pour accélérer.

Quelle que soit la bonne hypothèse, *Microraptor gui* n'est pas un ancêtre des oiseaux puisque ces animaux existaient déjà depuis longtemps au Crétacé inférieur. En revanche, il illustre un stade évolutif par lequel les ancêtres des oiseaux sont très vraisemblablement passés à une époque plus lointaine.

Rappelons que, dès 1915, le zoologue américain William Beebe avait suggéré que les précurseurs des oiseaux étaient passés par un stade qu'il nomma « tétraptéryx » ; les dessins qu'il proposa pour illustrer ce stade, alors purement théorique, ressemblaient de façon étonnante à la reconstitution de *Microraptor gui*. La paléontologie peut être aussi une science prédictive.

Eric BUFFETAUT, CNRS



Fossile de *Microraptor gui*, qui vient d'être découvert en Chine. Au centre, une reconstitution.

plumes ont évolué à la suite d'une série d'innovations développementales, qui remplissaient parfois une fonction initiale différente. Quoi qu'il en soit, toutes ces innovations se sont maintenues uniquement parce qu'elles représentaient un avantage en termes de survie.

Les créationnistes et d'autres sceptiques ont longtemps fait des plumes un argument pour remettre en cause la théorie de l'évolution. Désormais, la plume peut servir de cas d'école dans l'étude des innovations évolutives. Son histoire nous apprend que les chercheurs doivent d'abord déterminer les caractères réellement nouveaux, puis examiner comment ils apparaissent au cours du développement, dans les organismes modernes. Grâce à ce nouvel exemple emblématique de la biologie évolutive, les paléontologues résoudront certainement d'autres énigmes.

Richard PRUM, professeur d'écologie et de biologie évolutive à l'Université du Kansas, est le conservateur du Muséum d'histoire naturelle et du Centre de recherche sur la biodiversité de cette université. Alan BRUSH est professeur émérite d'écologie et de biologie évolutive de l'Université du Connecticut.

M. HARRIS, J. FALLON et R. PRUM, *Rapid Communication : Shh-Bmp2 signaling Module and the Evolutionary Origin and Diversification of Feathers*, in *Journal of Experimental Zoology*, vol. 294, n° 2, pp. 160 – 176, août, 2002.

R. PRUM et A. BRUSH, *The Evolutionary Origin and Diversification of Feathers*, in *Quarterly Review of Biology*, vol. 77, n° 3, pp. 61 – 295, septembre 2002.

A. BRUSH, *Evolving a Protofeather and Feather diversity*, in *American Zoologist*, vol. 40, n° 4, pp. 631-639, 2000.

Le dialogue des sens

ARLETTE STRERI

Un nouveau-né reconnaît, dès qu'il le regarde, un objet qu'il a manipulé sans le voir. Les sens, bien qu'ils ne se développent pas tous en même temps, semblent déjà connectés à la naissance.

Rechercher ses clés d'appartement dans un sac à main, tourner la tête vers un son insolite, prendre ses repas, conduire une voiture, sont des exemples de comportements qui mobilisent plusieurs sens. Bien que nous n'y prêtions pas attention, ou qu'il nous semble souvent que nous sollicitons de préférence un seul sens, toutes les activités de la vie quotidienne stimulent plusieurs sens. Les échanges entre l'individu et son environnement sont dits multimodaux.

Comment nos sens se coordonnent-ils ? Certains ont accès aux mêmes propriétés des objets ; par exemple, la vision et le toucher renseignent sur la forme, sur la texture ou sur le volume des objets. D'autres, telles la vision et l'audition, concernent l'espace lointain. Toutefois, dans la plupart des cas, une modalité sensorielle ne peut se substituer à une autre, car chacune d'elles traite des informations qui lui sont propres. La vision n'est sensible qu'aux ondes électromagnétiques (la lumière), le toucher ne réagit qu'à la pression et à la température, l'ouïe ne détecte que les ondes sonores et, enfin, le goût et l'odorat réagissent seulement à des molécules chimiques. Cette polyvalence sensorielle caractérise les ressources de l'être humain indispensables pour percevoir la complexité du monde physique et social. Pourtant, cette pluralité des récepteurs ne nous fait pas percevoir un environnement morcelé et multiple, selon le sens mobilisé : pourquoi nous semble-t-il, au contraire, cohérent et unifié ?

La mosaïque d'informations recueillies doit s'accorder pour que l'organisme puisse répondre correctement à une situation. La question est de savoir comment cette harmonisation est possible avec des sens qui fonctionnent comme des modules apparemment étanches. Comment pouvons-nous attribuer à l'environnement une unité et une stabilité, sachant que, de surcroît, les systèmes sensoriels ne captent que des aspects partiels et spécifiques des objets et des événements ? Comment savoir que l'objet d'art que je tiens dans la main et que je regarde avec admiration est un seul et même

objet ? Toutes ces conduites paraissent banales chez l'adulte humain, pourtant, elles supposent l'existence de mécanismes (dits intermodaux) qui rendent les informations cohérentes, et dont il nous faudra comprendre le fonctionnement.

Les psychologues ont surtout étudié la perception, sens par sens, alors que nos comportements supposent l'intégration d'informations provenant de différents systèmes sensoriels. Cette option est sans doute due à la complexité de cette intégration, qui ne s'exprime pas par de simples phénomènes additifs ou soustractifs. Quand nous regardons un objet tout en le manipulant, nous ne le percevons pas mieux que lorsque nous l'observons sans le toucher. De même, nous comprenons aussi bien les paroles d'une chanson quand nous l'écoutons à la radio que

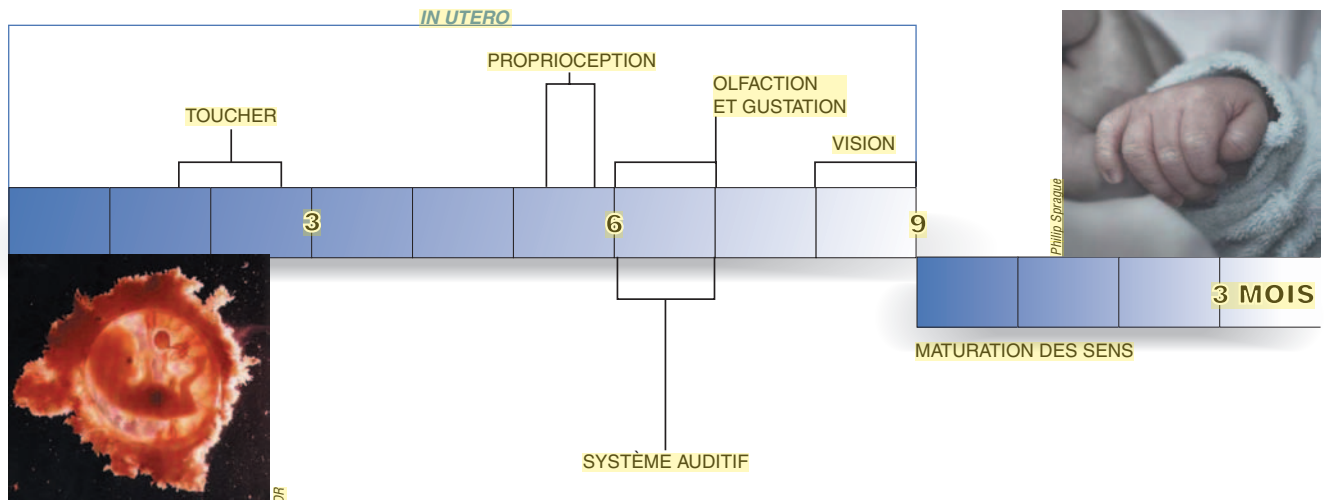
© Arthur TILLEY/Taxi/Getty Images



quand elle est chantée à la télévision. Cette démarche modulaire ou « isolationniste » a l'avantage d'insister sur les spécificités de chaque sens et de son organe. Pourtant, elle occulte la question des propriétés traitées par plusieurs sens : le mouvement, la taille, le nombre, etc. Cette question des correspondances entre les différents sens avait déjà été posée par Aristote dans son traité *De l'âme* ; les réponses commencent seulement aujourd'hui à se dessiner.

L'existence même des interactions sensorielles chez le bébé humain a fait l'objet d'un long débat. Aux problèmes déjà soulevés des particularités anatomiques, physiologiques et fonctionnelles de chaque modalité, se superpose celui de leur développement chez l'homme. En effet, nos sens n'émergent et ne se développent pas de façon synchrone. La ma-

rité d'entre eux fonctionnent déjà *in utero* (voir la figure 1). Le sens du toucher est le premier à réagir à une stimulation sensorielle, par exemple une caresse, dès la septième semaine de vie fœtale. Toutefois, ce sens ne devient pleinement efficace qu'à l'âge de un an. Durant le dernier trimestre de la grossesse, l'audition, le goût et l'odorat imprègnent déjà le fœtus d'événements extérieurs : des sons lui parviennent à travers la paroi utérine ; des goûts et des odeurs via l'alimentation de sa mère. En revanche, la vision ne devient vraiment opérationnelle qu'à la naissance de l'enfant et se développe rapidement pour devenir la modalité privilégiée et dominante chez l'homme dès le sixième mois. Cela signifie-t-il que le bébé vit dans un monde chaotique, morcelé, instable au cours des premiers mois de sa vie ?



1. LES SENS ne se développent pas de façon synchrone : les récepteurs du toucher apparaissent au cours des tout premiers mois chez le fœtus, tandis que le système tactile n'est mature qu'à l'âge de

12 mois. Le fœtus réagit à de fortes luminosités avant la naissance, mais la vision n'est vraiment mature qu'à un an, même si le bébé voit déjà bien avant cet âge.

Les sens sont modulaires et, pourtant, l'environnement nous semble unifié. Pour résoudre ce paradoxe, des arguments extrêmes ont d'abord été avancés avant de faire place, aujourd'hui, à un point de vue plus nuancé. D'après la conception empiriste, la coordination de nos sens ne repose que sur l'expérience et sur l'apprentissage que nous faisons des associations entre sensations différentes. Par exemple, un bébé voit une clochette qu'il peut manipuler et qui émet un son : les trois sensations (visuelle, tactile, auditive) lui parvenant de façon rapprochée et fréquente, le jeune enfant apprendrait à les associer et à donner au même objet son unité malgré trois expériences sensorielles différentes. Cette unité serait ensuite améliorée et cimentée par le langage (dans notre exemple, le mot « clochette »), acquis plus tardivement, et considéré comme un médiateur puissant.

Cette approche, qui a dominé du XVIII^e à la première moitié du XX^e siècle, est symbolisée par la question de l'Irlandais William Molyneux à son ami britannique John Locke en 1689 : Molyneux demandait si un aveugle de naissance qui, une fois adulte, recouvrerait la vue, différencierait d'emblée – et seulement en les regardant – une sphère d'un cube (l'aveugle sachant évidemment distinguer ces deux formes par le toucher). La réponse à cette question est négative : en général, les aveugles de naissance recouvrant la vue ne reconnaissent pas immédiatement par la vue des objets qu'ils connaissent bien tactilement. Ainsi, l'idée que les sens se coordonnent grâce à un apprentissage associatif dès la petite enfance s'était imposée.

Opposée à la position empiriste, la conception nativiste, dont les racines philosophiques sont aussi très anciennes puisqu'elles remontent à Démocrite, défend l'idée d'une unité primitive des sens, ou d'une perception dite amodale, qui transcenderait tous nos sens. En résumé, les connexions entre les sens seraient innées, et non acquises par le bébé au cours de son apprentissage. Cette position s'est propagée à partir des années 1960, surtout quand les neuroscientifiques américains Barry Stein et Alex Meredith ont mis en évidence, chez le chat, l'existence de neurones dans le colliculus supérieur (zone sous-corticale) qui ne réagissent qu'à une stimulation bimodale (par

exemple, tactile et visuelle). Ils ont ainsi prouvé l'existence de bases neuronales de l'intégration intermodale. Des travaux sur les nourrissons, que nous décrirons, ont étayé l'hypothèse de liens innés entre les sens.

Ces deux conceptions, empiriste et nativiste (ou innéiste), paraissent aujourd'hui trop radicales. Nous illustrerons notre propos par deux formes de relations intermodales chez le bébé : la première concerne le transfert entre la vision et le toucher, c'est-à-dire, par exemple, la capacité du cerveau à reconnaître visuellement un objet manipulé ; la seconde a trait à l'appariement entre l'audition et la vision, soit la capacité à relier un son à une scène.

Transfert entre la vision et le toucher

Dans le transfert intermodal, une information prélevée par un sens est utilisée par un autre. Par exemple, un objet palpé dans l'obscurité peut être reconnu visuellement une fois la lumière revenue. Au quotidien, la perception est multimodale (plusieurs sens sont activés en même temps). Alors, deux cas se présentent : soit les sens accèdent à des propriétés distinctes d'un même objet et les différentes informations doivent se coordonner pour préserver l'unité de l'objet (c'était le cas dans l'exemple du bébé et de la clochette). Soit les sens perçoivent la même propriété de l'objet : les informations sont alors redondantes, et le cerveau doit assigner la même valeur à cette propriété bien que les stimulations reçues soient différentes. Par exemple, un objet manipulé et regardé doit conserver sa forme, sa taille et sa texture indépendamment du système sensoriel qui l'explore.

Le transfert entre la vision et le toucher chez le bébé représente, en quelque sorte, une réponse à la question de Molyneux. Un nourrisson est-il capable de reconnaître visuellement un objet qu'il a auparavant exploré avec les mains ? Pour répondre à cette question, nous avons mené plusieurs expériences avec des bébés. Afin de tester ses capacités perceptives, nous utilisons deux comportements naturels du nourrisson : il se familiarise peu à peu avec une situation (phase d'habituation), c'est-à-dire qu'il porte de moins en moins d'intérêt aux objets qu'il connaît ; en revanche, il réagit à ce qui est nouveau en explorant plus longuement ce qu'il découvre.