

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.

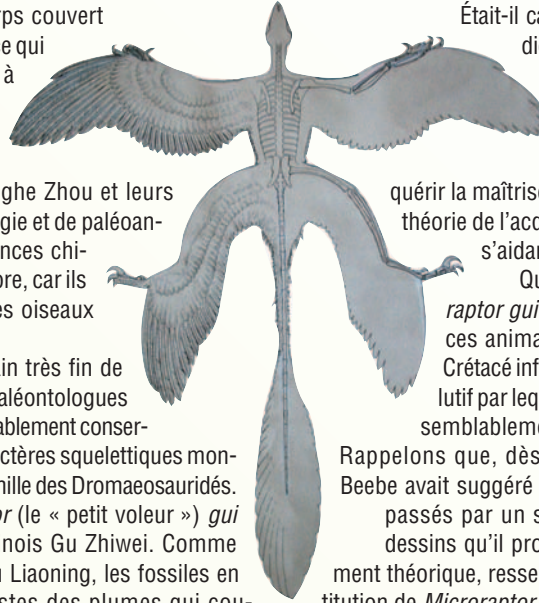
Était-il capable de battre des ailes ? Il faudra étudier ses articulations pour en juger.

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

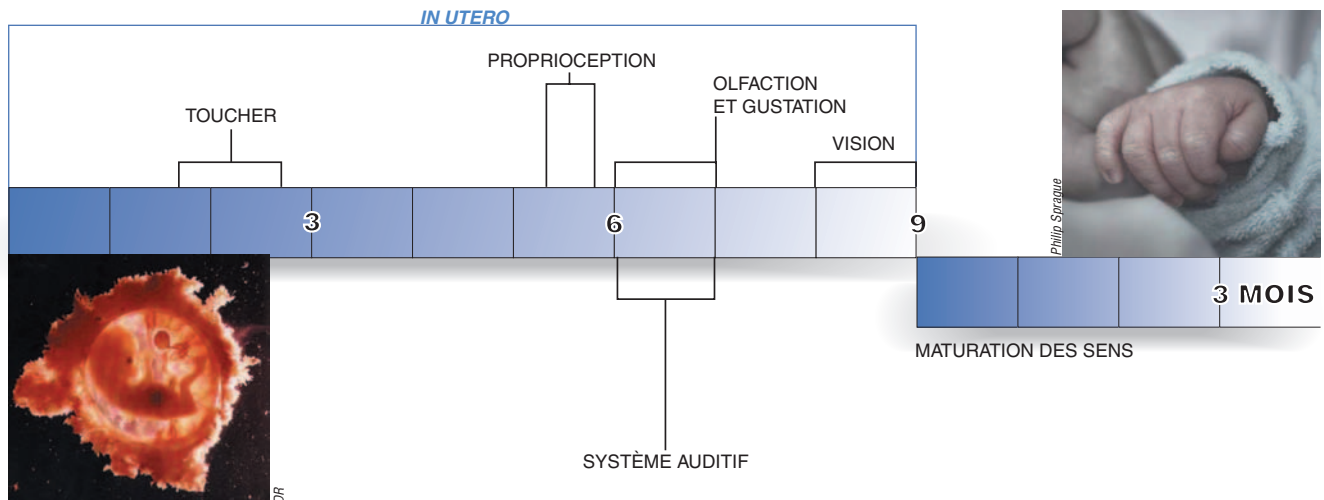
© Arthur TILLEY/Taxi/Getty Images



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 majo-

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.

Dans notre expérience, le bébé est semi-allongé dans un siège et un grand écran de tissu l'empêche de voir ses mains (voir la figure 2). Il explore librement les objets avec ses mains, mais ne les voit pas. L'expérience se déroule en deux étapes : dans la première, le bébé explore l'objet avec les mains. Pendant cette phase dite d'encodage, il doit prélever des informations sur les propriétés de l'objet et les garder en mémoire. On s'attend à ce que le bébé tienne l'objet de moins en moins longtemps à mesure qu'on le lui donne (habitation). Dans la seconde étape, dite de reconnaissance, on montre au bébé l'objet manipulé et un objet nouveau. Le transfert intermodal a lieu quand le bébé regarde plus longtemps l'objet nouveau que celui qui lui est tactilement familier : reconnaissant l'objet familier, il s'en désintéresse au profit du nouveau qu'il découvre. Le déroulement de ce scénario paraît simple. En réalité, il repose sur des mécanismes psychologiques complexes qui exigent du bébé une attention, une mémoire, ainsi qu'un traitement perceptif et cognitif importants.

Le bébé prélève avec sa main des informations sur la forme, la taille, le volume, la texture, le poids et la température de l'objet, mais il n'en extrait aucune sur la couleur, traitée spécifiquement par la vision. Une fois qu'il voit les objets, il doit opérer un choix : lequel est nouveau ? Le bébé découvre la couleur de l'objet, mais elle est peu pertinente pour le choix qu'il doit effectuer. Le poids et la température, auparavant perçus par la main, ne sont pas pertinents non plus. En revanche, il se sert des propriétés communes aux deux modalités, comme la forme, la taille et le volume et, dans une moindre mesure, la texture, pour déterminer si l'objet présenté est identique ou non à l'objet palpé. Au final, le bébé écarte les spécificités modales, retient les informations redondantes et apparie l'objet tactile et l'objet visuel qui partagent des caractéristiques communes. Ainsi, un mécanisme de catégorisation se met en place : le bébé classe, en objet familier ou inconnu, au lieu d'entamer un nouvel apprentissage systématique des deux objets, qui lui ferait perdre du temps.

L'attrait de la nouveauté

Pour répondre aux propositions de la philosophie empiriste, nous devons mener des expériences avec des bébés dès leur naissance et, en tout cas, avant l'âge de cinq ou six mois. Après cet âge commence l'étape de la coordination entre la préhension et la vision : le bébé saisit les objets qu'il voit et porte à sa vue les objets qu'il tient dans la main. Une exploration bimodale s'exerce alors. Nous avons réalisé des expériences avec des nouveau-nés âgés de trois jours en moyenne (le plus jeune avait 16 heures). Le bébé est semi-allongé sur un siège, et on dépose un petit cylindre dans sa main (voir la figure 3). On s'assure que le bébé ne voit jamais l'objet au cours de l'étape d'encodage. Lorsque le bébé lâche de plus en plus souvent l'objet, on arrête de le déposer dans sa main : l'étape de reconnaissance visuelle commence. Un écran est retiré et laisse apparaître deux objets de grande taille, dont la reproduction du cylindre, dix fois plus volumineux que le cylindre manipulé. On enregistre le nombre de fois où le bébé fixe chaque objet des yeux, ainsi que la durée de chaque fixation. Un second groupe de bébés (de contrôle) suit seulement cette étape, afin de vérifier que, dès la naissance, les bébés ne préfèrent pas l'un ou l'autre des objets.

D'après nos résultats, les nouveau-nés qui ont manipulé le petit cylindre s'orientent préférentiellement vers l'objet nouveau, alors que les bébés du groupe de contrôle ne marquent aucune préférence. Dans les deux groupes, le regard des bébés change souvent d'objet. Cependant, les saccades sont plus fréquentes chez les bébés du premier groupe. Ainsi, nous avons établi que le nouveau-né est capable de reconnaître un objet, en le voyant, alors qu'il l'a seulement manipulé sans le voir auparavant. Un transfert intermodal entre le toucher et la vision semble donc exister dès la naissance. À la question de Molyneux, la réponse du bébé est positive.

D'après des études réalisées par le psychologue américain Andrew Meltzoff, de l'Université de Seattle, le nourrisson âgé de un mois est encore capable de reconnaître visuellement, d'après la texture, et non la forme, comme dans notre expérience, un objet qu'il a préalablement exploré oralement (une tétine qui présente ou non des aspérités). À ce jour, les répliques de cette expérience n'ont pas permis de retrouver ce résultat, mais une expérience réalisée dans des conditions similaires par la psychologue américaine Eleanor Gibson, de l'Université de Cornell, chez des bébés du même âge, montre l'existence d'un transfert d'informations sur la substance : on donne à des bébés une tétine dure ou molle ; puis on leur montre une grande tétine qui bouge de manière rigide ou flexible. Les bébés regardent de préférence le type de tétine qu'ils n'ont pas eu en bouche.

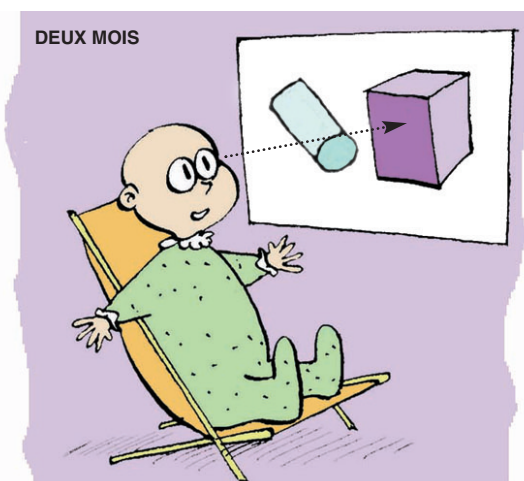


A. Steri

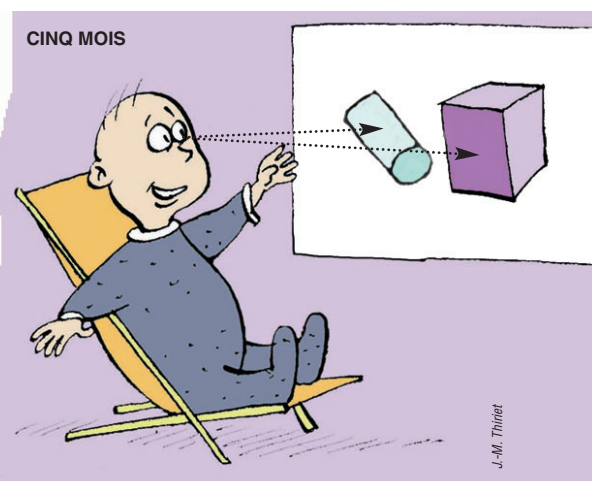
2. LE BÉBÉ découvre un objet en le manipulant, mais, dans cette expérience, il ne le voit à aucun instant, car un écran blanc dissimule ses mains. À mesure qu'il explore l'objet, il s'en désintéresse et le lâche de plus en plus fréquemment jusqu'à refuser de le prendre : c'est la phase d'habitation.



DEUX MOIS



CINQ MOIS



J.-M. Thiriet

3. LE BÉBÉ PALPE UN PETIT CYLINDRE sans le voir. Après la phase d'habituation, on lui montre deux objets, le même cylindre et un cube. Le nouveau-né et le bébé de deux mois regardent de préférence l'objet nouveau (le cube), ce qui signifie qu'ils reconnaissent visuel-

lement le cylindre qu'ils ont manipulé, et s'en désintéressent au profit du nouveau : le transfert intermodal a eu lieu. En revanche, le bébé de cinq mois ne manifeste aucune préférence : il fixe aussi souvent et aussi longtemps le cylindre que le cube.

Une question se pose néanmoins. Si les échanges d'informations du toucher à la vision sont possibles, l'inverse se vérifie-t-il, c'est-à-dire le transfert de la vision au toucher ? Si oui, le statut d'une unité primitive des sens serait définitivement établi, sorte de fusion ou confusion entre les sens à la naissance d'où chaque modalité émergerait et acquerrait sa spécificité. Afin de tester cette hypothèse, nous avons étudié le transfert entre le toucher (dans son mode manuel) et la vision, et réciproquement. Le bébé devait reconnaître visuellement un objet exploré tactilement, et à l'inverse, il devait reconnaître en le touchant un objet précédemment regardé. Nos expériences ont révélé que les bébés âgés de deux mois sont capables de reconnaître la forme d'un objet préalablement manipulé, mais qu'ils sont incapables de reconnaître avec leur main un objet déjà vu. À cinq mois, le résultat s'inverse : les bébés sont capables de reconnaître par la seule palpation un objet déjà vu, mais ils ne sont plus capables de reconnaître visuellement un objet tactilement familier. L'absence d'un transfert réversible est attestée à ces deux âges, mais également au cours du développement, tant chez le bébé que chez l'enfant, voire chez l'adulte.

L'explication de ces phénomènes varie avec l'âge des bébés. À l'âge de deux mois, cette non-réversibilité est essentiellement imputable à l'immaturation du mode manuel de l'enfant, encore incapable d'explorer un objet de manière efficace en peu de temps. À cet âge, la vision est plus efficace pour extraire les informations sur les propriétés des objets. La tenue des objets se révèle juste suffisante pour servir de base à un transfert du toucher à la vision, mais non l'inverse. La relation de transfert s'établit à partir de la modalité la plus primitive, c'est-à-dire le toucher.

À cinq mois, le bébé dispose d'une perception manuelle plus développée qu'à deux mois, mais perd provisoirement cette fonction, lorsque la main devient surtout un outil de transport des objets dans l'espace. Le bébé de cinq mois reconnaît un objet qu'il regarde mais, dès qu'il le tient, c'est pour le déplacer et non pour l'explorer manuellement. À partir de cet âge, la main entre sous contrôle visuel. D'ailleurs, le bébé n'accepte plus l'écran et cherche à l'écarter, car il l'empêche de voir ce qu'il tient. Le système épaule-bras-main prédomine et le bébé s'en sert tel un instrument pour élargir l'exploration de son environnement. Lorsque

vers six mois, le bébé découvre les objets à la fois par la vue et par le toucher, l'unité des sens n'est pas détruite, mais se trouve renforcée. La modalité tactile partage son activité exploratoire entre le mode oral et le mode manuel, provisoirement en compétition, pour extraire toutes les propriétés de l'objet que le bébé regarde.

Au final, la réponse des bébés à la question de Molyneux est positive : les bébés reconnaissent visuellement un objet qu'ils ont manipulé sans le voir. L'hypothèse empiriste (apprentissage associatif) est infirmée puisqu'une relation entre la vision et le toucher se trouve très précocement mise en évidence. L'hypothèse d'une unité primitive des sens est également invalidée puisque les transferts ne sont pas réversibles.

Des spectateurs perspicaces

Contrairement au toucher, l'ouïe et la vision explorent l'espace lointain. Ces deux sens apparaissent interchangeables : les défaillances visuelles sont d'ailleurs, en partie, compensées par l'écoute. Le monde est ponctué d'événements à la fois visuels et sonores, et beaucoup de nos objets familiers émettent des bruits : un robinet qui fuit, une voiture qui passe... Le langage parlé, où des sons articulés accompagnent le mouvement des lèvres, les arabesques de la danse, les mouvements du chef d'orchestre durant un concert, en sont des exemples. L'impact entre deux surfaces produit un son qui, s'il se faisait entendre avant ou après le choc, donnerait à la situation un caractère incongru. Quand l'événement visuel devance l'événement sonore, par exemple, au cours d'un orage, la relation entre l'éclair et le tonnerre doit être expliquée à l'enfant.

La méthode la plus fréquemment utilisée pour établir les capacités d'appariement intermodal entre des événements visuels et auditifs chez le bébé est celle du « choix préférentiel ». Le bébé voit deux films présentés en même temps. Une bande sonore est associée à l'un des films. La source sonore est située entre les deux écrans de sorte que le bébé ne puisse établir un lien entre l'image et le son, en se fiant à la localisation de la source sonore. On enregistre l'orientation du regard et les fixations visuelles du bébé pour savoir à quelle séquence visuelle il apparie la séquence

sonore. On s'attend à ce que le bébé préfère regarder la scène qui correspond à la bande son plutôt que l'autre (contrairement aux expériences précédentes, où le bébé préfère l'objet nouveau et différent). Ainsi, il rétablit la congruence entre les événements sonore et visuel simultanés.

D'après les études, les capacités des bébés à appairer des scènes visuelles et des sons s'améliorent avec l'âge, à mesure qu'ils progressent à la fois dans la perception de la synchronie et dans la compréhension de la structure d'un objet, composé d'un ou de plusieurs éléments. Le bébé détecte des événements simultanés avant d'être capable de saisir la structure des objets. Ainsi, quand on montre à un bébé de trois mois une balle qui heurte une surface, il se montre déjà surpris si le son n'est pas émis au moment de l'impact. En revanche, seuls les bébés âgés d'au moins six mois associent correctement différents sons aux hochets de constitution distincte qui les ont émis. Ainsi, dans une expérience, on montre à des bébés deux hochets en forme de cylindre transparent. L'un contient une grosse bille, l'autre plusieurs petites billes. Ces hochets agités de bas en haut émettent des sons qui dépendent de leur contenu. On enregistre ces sons. Les bébés âgés de six mois, ceux de quatre mois dans certaines conditions, mais pas les plus jeunes, regardent préférentiellement le hochet auquel correspond la bande son conforme à sa structure.

La capacité d'appairer deux événements émerge donc entre quatre et six mois. Cependant, en 1999, Alan Slater, et ses collègues de l'Université d'Exeter, en Grande-Bretagne, ont révélé que les nouveau-nés sont déjà capables de relier des informations visuelles et auditives arbitraires, après quelques essais au cours desquels on leur fait entendre un son à chaque fois qu'on leur montre une figure géométrique colorée. Ces expériences révèlent une relation intermodale précoce guidée par la simultanéité des informations présentées.

Les émotions sont aussi perceptibles à la fois visuellement et auditivement. Elles informent sur l'état mental de celui qui les exprime. Il est donc important de savoir si, dans les relations sociales et affectives, le bébé peut détecter et comprendre cet appariement. L'expérience est fondée sur la méthode du choix préférentiel. On projette

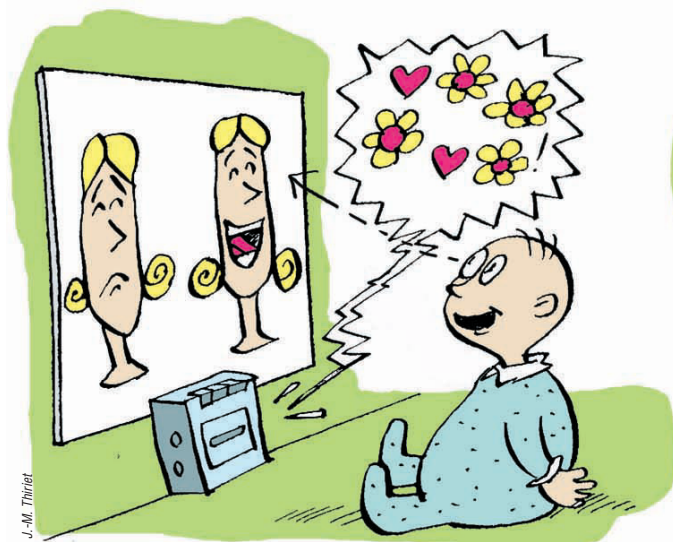
deux films à des bébés âgés de cinq et sept mois (voir la figure 4). Le premier montre une femme d'apparence gaie, tandis que l'autre semble triste. Une bande son produit tantôt un discours joyeux, tantôt un discours triste. Les bébés préfèrent regarder le visage en adéquation avec le discours, et ce, dès cinq mois ! Lorsque le visage est partiellement masqué, les bébés réussissent le mieux les appariements quand ils voient les yeux. Par ailleurs, les jeunes bébés ne réagissent plus quand les visages sont renversés.

Doublage et ventriloque

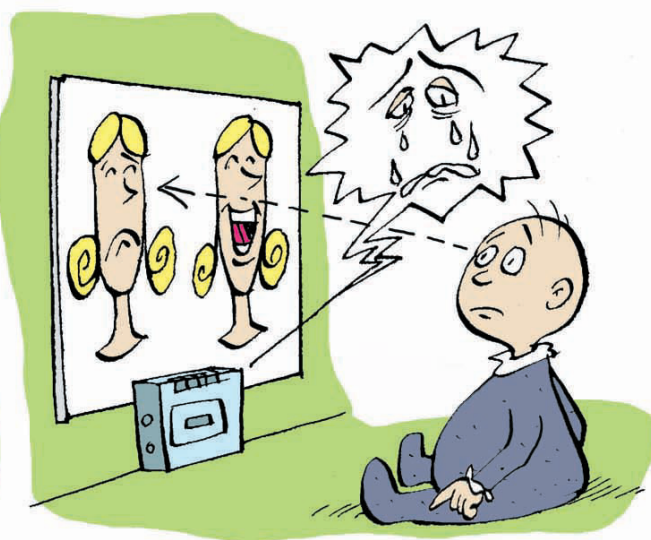
La perception du discours est un processus essentiellement auditif. On n'est certes pas obligé de regarder la personne qui parle, et le bébé dans son berceau entend souvent des flux de paroles sans voir qui les exprime. Néanmoins, pour suivre une conversation dans un endroit bruyant, l'adulte s'aide de la vision des lèvres de celui qui parle. Parfois, l'information visuelle perçue en appui du discours modifie la perception auditive. Par exemple, dans l'effet McGurk, du nom du psychologue anglais Harry McGurk, on voit sur un écran une personne qui prononce « ba », mais on envoie le son « da » aux oreilles du spectateur. Son cerveau est confronté à un conflit entre les informations visuelles et auditives. Il trouve un compromis : quand on interroge le spectateur, il dit qu'il entend « ga ». Les doublages des films étrangers doivent prendre en compte cet effet dans la traduction des dialogues.

Les ventriloques exploitent un autre phénomène, dit de capture visuelle : la marionnette remue la bouche et les lèvres, tandis que le ventriloque parle sans bouger les lèvres. Le spectateur a l'impression que la marionnette parle : son attention est « capturée » par les mouvements de la marionnette et la voix du ventriloque semble provenir de la bouche de la marionnette.

L'acquisition du langage repose en partie sur des événements simultanés visuels et auditifs qui font appel à des mécanismes fonctionnels intermodaux. Les expériences conduites par Patricia Kuhl, de l'Université de Washington, ont montré que les bébés réalisent des appariements entre la forme des lèvres et les sons émis par un locuteur. Des



4. DEUX VISAGES, l'un joyeux, l'autre triste, sont présentés à un bébé. Une bande sonore diffuse un discours tantôt gai, tantôt triste. Quand le discours est enjoué, le bébé, dès cinq mois,



regarde spontanément le visage qui exprime la joie. Quand le message est triste, il tourne son regard vers le visage maussade. Dès cet âge, il relie des informations visuelles et auditives.



5. DÈS LA NAISSANCE, le bébé imite des mimiques des adultes, par exemple, quand on lui tire la langue. À partir d'une information visuelle, il envoie l'ordre correct pour imiter la grimace qu'il voit : il établit une relation entre des informations proprioceptives (qui lui indiquent par exemple qu'il tire la langue) et des informations visuelles.

bébés âgés de 18 à 20 semaines voient deux visages. Les lèvres de l'un prononcent le son /i/ (lèvres serrées, position élevée de la langue) ; les autres lèvres prononcent le son /a/ (bouche ouverte, position basse de la langue). Les sons sont émis par un haut-parleur situé entre les deux visages. Les bébés regardent plus longtemps le visage dont les lèvres paraissent prononcer le son émis par le haut-parleur que l'autre visage. Cette correspondance auditivo-visuelle se généralise à d'autres oppositions de voyelles, voire de syllabes.

Les fondements de la connaissance de soi

Nous avons jusqu'ici développé des exemples où la perception sensorielle sert à découvrir le monde extérieur, mais elle sert aussi à se découvrir. Comment le bébé apprend-il à se connaître, à établir un schéma de son corps pour se percevoir différent des autres ? Cette compétence est-elle présente très précocement ? Ces questions sont fondamentales : pendant près d'un siècle, les théories classiques du développement menées par Piaget, par Wallon ou par Freud ont considéré le nouveau-né comme un prolongement de sa mère, confiné dans une relation fusionnelle ou confusionnelle, dans laquelle aucune dissociation n'était possible. Ces théories sont désormais remises en cause, notamment par les deux observations suivantes : le nouveau-né porte souvent ses mains au contact de son visage et de sa bouche.

Il acquiert ainsi une expérience perceptive et sensori-motrice qui lui permet d'identifier son corps. Elle met en jeu plusieurs sens et provient du double contact tactile entre le visage, qui reçoit une stimulation, la main qui la donne, et dans l'information extraite du mouvement du bras. Quand le bébé touche sa bouche avec sa main, cette stimulation de soi n'est jamais précédée du réflexe de foussement (orientation de la bouche vers la stimulation), tandis que ce réflexe apparaît toujours lors d'une stimulation externe. Très jeune, le bébé est donc capable de différencier une stimulation externe d'une stimulation qu'il commande.

La deuxième observation porte sur sa capacité d'imitation. Quand un adulte se place face à un bébé, qu'il lui tire la langue ou qu'il cligne des yeux, le bébé, dès la naissance, reproduit ces grimaces (voir la figure 5). Cette imitation suggère que le nouveau-né a une connaissance précablée de son visage, bien qu'il ne soit pas encore visible de lui, et qu'il peut sélectionner, parmi un ensemble de réponses possibles, la mimique analogue à celle d'un congénère. Ainsi, le bébé possède une richesse d'expériences tactiles et proprioceptives qui lui fournissent des informations suffisantes pour se distinguer de l'autre, lorsqu'il est touché, lorsqu'il se touche et lorsqu'il touche autrui.

En conclusion, les relations intermodales ne constituent pas une somme de compétences de chaque sens. Il s'agit de phénomènes très complexes qui dépendent non seulement du couple de modalités concernées (toucher/ vision ou vision/ audition), des contraintes imposées par le développement de chaque système, mais également des informations que chaque sens peut prélever dans l'environnement. Dès la naissance, le bébé est capable de discriminer différents stimulus, de détecter des changements dans son environnement, quel que soit le sens qui est sollicité par ce changement. Son oreille détecte différents sons, sa main différencie des objets de forme et de texture différentes, ses yeux préfèrent regarder des cibles hétérogènes (tapissées de papier journal par exemple) que des cibles homogènes, même colorées. Il préfère l'odeur de sa mère à celle d'une autre mère, etc. Ces compétences de discrimination constituent la base des relations intersensorielles. En outre, le bébé a une structure neuronale qui lui permet d'établir des appariements. Les signaux biologiquement importants pour répondre de façon efficace et rapide aux problèmes posés par l'environnement sont, dès le début de la vie, organisés de façon intermodale, et jouent un rôle dans l'apprentissage.

Arlette STRERI est professeur de psychologie de l'enfant à l'Institut de psychologie de l'Université René Descartes, à Boulogne-Billancourt.

A. STRERI et E. GENTAZ, *Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns*, in *Somatosensory and Motor Research*, vol. 20, pp. 11-16, 2003.

Y. HATWELL, A. STRERI et E. GENTAZ, *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Éditions Presses Universitaires de France, 2000.

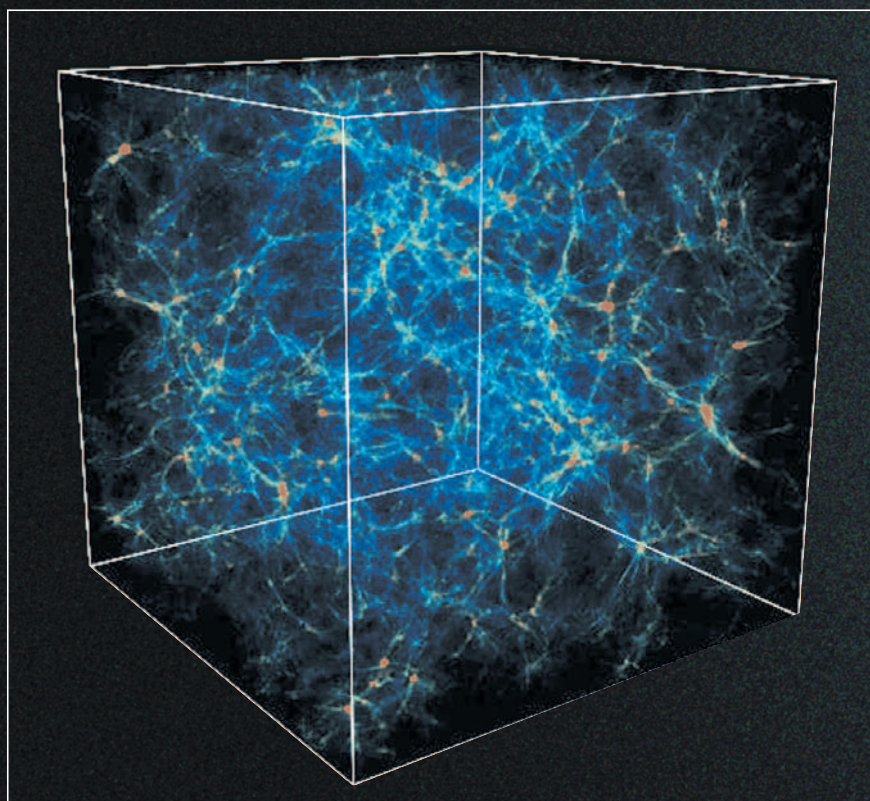
D. LEWKOWICZ, *The development of intersensory temporal perception : an Epigenetic Systems/limitations View*, in *Psychological Bulletin*, vol. 126, pp. 281-308, 2000.

A. STRERI, *Les réponses du bébé à Molyneux*, in *Le problème de Molyneux aujourd'hui : Essais de philosophie de la perception*, Éditions Presses Universitaires de France, pp. 161-178, 1997.

Le côté obscur

DAVID CLINE

La matière sombre s'est d'abord manifestée à l'échelle cosmique, mais nous ne comprendrons vraiment sa nature que lorsque nous réussirons à l'isoler dans nos laboratoires terrestres.



G.L. Bryan/M.L. Norman/UUC/NCSA/GC3

1. SI NOUS POUVIONS VOIR LA MATIÈRE NOIRE, nous ne reconnâtrions pas la Voie lactée (page de droite). Le disque spiralé qui nous est familier et qui contient la plupart des étoiles est, en réalité, enveloppé d'un épais brouillard de particules de matière noire. Les astronomes pensent que ce brouillard dense est dix fois plus massif que le disque, et presque dix fois plus grand. Toutefois, leurs mesures sont assez peu précises. Nous sommes cependant convaincus que la matière noire existe, à la fois parce qu'elle se manifeste dans le mouvement des étoiles de la galaxie, et parce que sa présence est déduite des simulations (*ci-dessus*) de formation des galaxies à partir des fluctuations de densité du plasma primordial.