



© Avec l'aimable autorisation de Roy Caldwell

LES COUPS PORTÉS PAR LES SQUILLES sont si puissants qu'il est dangereux pour elles de se battre. Les mâles et les femelles qui se disputent de la nourriture ou un territoire se frappent mutuellement leur queue cuirassée [leur telson] pour se mesurer. Ces démonstrations de force ritualisées permettent à ces crustacés d'éviter de porter des coups fatals.

■ BIBLIOGRAPHIE

P. S. L. Anderson et al., **Competing influences on morphological modularity in biomechanical systems: A case study in mantis shrimp**, *Evolution & Development*, vol. 18(3), pp. 171-181, 2016.

K. Kagaya et S. N. Patek, **Feed-forward motor control of ultrafast, ballistic movements**, *Journal of Experimental Biology*, vol. 219(3), pp. 319-333, 2016.

S. Cox et al., **A physical model of the extreme mantis shrimp strike: Kinematics and cavitation of Ninjabot**, *Bioinspiration & Biomimetics*, vol. 9, pp. 1-16, 2014.

T. Claverie et S. N. Patek, **Modularity and rates of evolutionary change in a power-amplified prey capture system**, *Evolution*, vol. 67(11), pp. 3191-3207, 2013.

J.-M. Courty et É. Kierlik, **Clac végétal et uppercut de crevette**, *Pour la Science*, n° 346, août 2006.

Le dernier compromis est peut-être le plus radical : les armes ultrarapides étant souvent mortelles, les populations et les espèces qui survivent à long terme sont celles dont les organismes ont développé des stratégies pour éviter ou réduire leur utilisation contre leurs congénères.

Là encore, notre modèle, la squille, apporte quelques leçons. Les squilles sont pour l'essentiel des organismes au corps mou, à l'exception de leurs appendices ravisseurs et de leur telson (leur queue aplatie et cuirassée), si bien qu'un coup bien dirigé a toutes les chances d'être léthal.

Cependant, les squilles frappeuses règlent leurs conflits par un comportement ritualisé, où l'une frappe le telson de l'autre. Jennifer Taylor, actuellement à l'institut Scripps d'océanographie, a constaté que le marteau frappeur et le telson qui reçoit ses coups interagissent selon une dynamique semblable à celle d'une batte en frêne qui frappe une balle de baseball, et que l'énergie renvoyée au marteau dépend de la taille de l'animal visé. Il est donc possible que les squilles évaluent leurs tailles respectives grâce à ces duels ritualisés.

Depuis que nous avons obtenu les premières images des coups portés par la squille et commencé à mettre au jour les originalités des organismes ultrarapides, ce nouveau champ de la biologie est devenu un domaine pluridisciplinaire et particulièrement pertinent pour les systèmes humains et la conception technique.

Tandis que les recherches se poursuivent en espérant de nouvelles découvertes d'organismes ultrarapides, l'histoire évolutive de ces derniers éclaire des principes de conception technologique. En évoluant sur des millions d'années et en laissant derrière elles des vestiges fossiles qui documentent directement la diversification des appendices au fil du temps, les squilles offrent une expérience naturelle en conception de systèmes dans un large éventail de conditions historiques et actuelles, dans des habitats aussi divers que la boue, le sable et les coraux vivants, depuis les zones de balancement des marées jusqu'aux profondeurs océaniques.

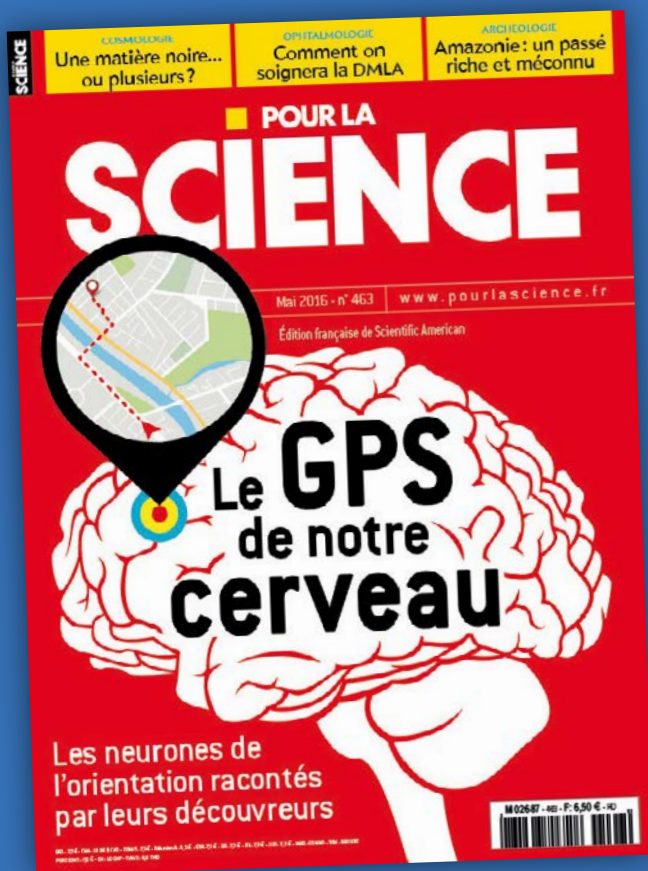
Biologie ultrarapide : une grande diversité

Les fourmis à mâchoires-pièges présentent elles aussi une extraordinaire diversité évolutive ; dans leur cas, au moins quatre origines évolutives indépendantes ont conduit à des mandibules ultrarapides, offrant donc tout un jeu de données qui rassemblent en parallèle les conditions d'apparition des mécanismes ultrarapides. De même, il existe de nombreuses espèces de champignons qui propulsent leurs spores, avec une diversité de formes susceptibles d'inspirer des systèmes artificiels de propulsion par gouttelettes. Et l'on trouve aussi une grande diversité chez les crevettes frappeuses, dans les cellules urticantes de méduses, etc.

De la dynamique comportementale des combats ritualisés à la lutte contre les méfaits du phénomène de cavitation, ces organismes puissants quoique petits ont ouvert de nombreuses fenêtres inattendues sur la physique, l'évolution, l'ingénierie et l'écologie. ■

OFFRE DÉCOUVERTE

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE



1 AN - 12 N^{os}
59€ **24% d'économie**

2 ANS - 24 N^{os}
110€ **29% d'économie**

3 ANS - 36 N^{os}
159€ **32% d'économie**

BULLETIN D'ABONNEMENT

POUR LA SCIENCE

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en formule Découverte :**

- ☐ 1 an • 12 numéros • **59€** au lieu de 78,50€ (D1A59E)
- ☐ 2 ans • 24 numéros • **110€** au lieu de 157€ (D2A110E)
- ☐ 3 ans • 36 numéros • **159€** au lieu de 235,50€ (D3A159E)

MES COORDONNÉES

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____
Code postal : _____
Ville : _____
Tél. : _____
Pour le suivi client (facultatif)

MON MODE DE RÈGLEMENT

- ☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science
- ☐ Par carte bancaire

N° _____
Date d'expiration _____ Clé _____

Signature obligatoire



PAS465B

Mon e-mail pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscule). _____@_____

Grâce à votre email nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement. À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à pourlascience@abopress.fr

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/07/16 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science.

Le bébé un linguiste en herbe

Patricia Kuhl

Tout enfant est capable de maîtriser l'une des 7 000 langues connues. Son apprentissage dépend de façon cruciale des interactions sociales et de la répétition des sons entendus.

Les tout-petits ont un don étonnant : très vite, ils sont capables de maîtriser une langue. À 6 mois, un enfant apprend les sons caractéristiques de la langue française. Et s'il entend parler le tagalog ou le quechua, il retiendra les traits acoustiques si particuliers de ces deux idiomes. Un bambin prononce ses premiers mots à 1 an, et dès l'âge de 3 ans il converse avec ses parents, un camarade de jeu ou un inconnu.

Depuis quarante ans, j'étudie le développement infantile et la façon dont, en quelques années, les enfants passent du babillage à un langage articulé autour de mots et de phrases. Et je suis toujours aussi émerveillée par la rapidité avec laquelle les enfants acquièrent cette compétence. Depuis quelques années, les chercheurs commencent à comprendre ce qui se passe dans le cerveau de l'enfant au cours du processus d'apprentissage.

À la naissance, le cerveau du bébé perçoit l'intégralité des quelque 800 sons – les phonèmes – qui, associés les uns aux autres, forment les mots de toutes les langues parlées sur Terre. Nos recherches montrent que le cerveau de l'enfant passe, entre 6 et 12 mois, par une période « sensible » au

cours de laquelle il se prépare à acquérir les rudiments du langage.

Vers l'âge de 6 mois, le cerveau de l'enfant s'attelle à la reconnaissance spécifique des voyelles de sa langue natale, puis vers 9 mois à celle des consonnes. La « période sensible » ne dure que quelques mois, parfois plus si l'enfant est au contact d'une seconde langue. Jusqu'à 7 ans, un enfant peut apprendre à parler une autre langue presque couramment.

L'aptitude intrinsèque à l'apprentissage du langage ne suffit pas à dépasser le stade des premiers « mama » et « papa » que prononce le bébé. La maîtrise de cette compétence sociale essentielle est favorisée par les innombrables heures que l'enfant passe à écouter ses parents lui parler avec ce langage si typique : les inflexions exagérées – « Mais qu'il est mimi ce petit bébé » – servent un objectif qui n'a rien de futile. Elles fournissent au bébé des leçons quotidiennes d'intonation et de cadence dans sa langue maternelle.

Nos connaissances relatives au développement du langage dans sa première phase ont, aujourd'hui, atteint un niveau assez avancé pour que les psychologues et les médecins puissent mettre au point



L'ESSENTIEL

- À six mois, un bébé est capable de percevoir les sons d'une ou deux langues. Il se prépare ainsi à développer les tons et les cadences de sa langue maternelle.
- Le bébé acquiert cette compétence grâce à ses échanges avec ses parents et en prêtant une attention particulière aux sons du langage les plus fréquents.
- L'imagerie cérébrale commence à montrer comment les tout-petits apprennent le langage. Ces techniques pourraient à terme indiquer si le cerveau de l'enfant se développe correctement.

© Shutterstock.com/szelei





L'ACQUISITION DU LANGAGE est un processus complexe. Pourtant, en moins d'un an, les bébés produisent leurs premiers mots.

des outils d'aide aux enfants ayant des difficultés d'apprentissage. Par ailleurs, l'imagerie cérébrale ouvre des perspectives sur la possibilité de déterminer si l'enfant développe normalement ses capacités linguistiques ou s'il présente des troubles.

Ce dépistage nécessite des tests que nous commençons à esquisser à partir de nos découvertes les plus récentes sur le développement du langage. Mon équipe et d'autres ont montré que les enfants utilisent deux mécanismes d'apprentissage distincts aux premiers stades de l'acquisition du langage : l'un reconnaît les sons par un processus mental qui évalue leurs occurrences dans les paroles des parents, l'autre procède d'une intense immersion sociale.

Pour apprendre à parler, les enfants doivent identifier les phonèmes dont sont formés les mots qu'ils entendent. Sur environ 800 phonèmes, ils doivent discriminer la quarantaine de ces éléments utiles pour parler leur propre langue. Cette tâche consiste à distinguer les sons prononcés, une

■ L'AUTEUR



Patricia KUHLL codirige l'Institut des sciences du cerveau et de l'apprentissage de l'université de Washington, aux États-Unis, et dirige le LIFE Center, un centre pour la science et l'apprentissage.

opération difficile car une seule consonne modifie le sens d'un mot, comme avec « car » et « gare ». Et une voyelle telle que « o » se prononce ouverte ou fermée en fonction des consonnes qui l'entourent : une « pomme », un « numéro ».

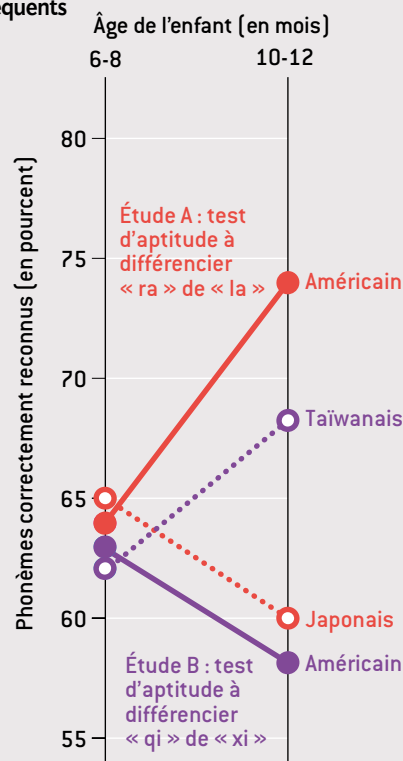
Mes travaux et ceux de l'équipe de Jessica Maye, alors à l'université Northwestern à Chicago, ont montré que les modèles statistiques – les fréquences des différents sons – jouent un rôle primordial dans la façon dont l'enfant prend conscience de l'importance de tel ou tel phonème. Les enfants âgés de 8 à 10 mois ne comprennent pas encore les mots prononcés, mais ils sont extrêmement sensibles à la fréquence d'occurrence des phonèmes. Les phonèmes les plus importants d'une langue sont ceux que l'on prononce le plus souvent. Par exemple, en français (ou en anglais) les sons /r/ et /l/ sont assez fréquents. En japonais, le /r/ et le /l/ à la française sont rares, mais le /r/ japonais, un son intermédiaire (le mot japonais « ramen » résonne comme « laamen » à une oreille française), est commun.

La période sensible

L'ensemble des langues utilisent environ 800 phonèmes ou sons, qu'un bébé est capable de percevoir indépendamment de la culture dans laquelle il est élevé. Mais en fonction de son environnement et des langues qu'il entend, il se focalise sur les phonèmes les plus fréquents et perd la faculté à distinguer les autres.

Entre 6 et 8 mois, les tout-petits ont la capacité de discriminer les unités phonétiques, telles que « ra » ou « la ». Mais vers 10 mois, cette fenêtre commence à se fermer, et certains signes montrent que les enfants sont de plus en plus reliés par le son à leur propre culture. Au cours d'une étude menée à Tokyo et à Seattle, il a été constaté que l'aptitude d'enfants japonais à entendre la différence entre « ra » et « la » diminuait, alors que celle des enfants américains à percevoir la distinction entre ces deux sons augmentait sur cette même période (en rouge).

Une étude menée à Taipei et à Seattle a montré que l'aptitude des enfants taiwanais à entendre la différence entre « qi » et « xi » croissait. En revanche, sur les mêmes sons, celle des enfants américains perdait du terrain (en violet). Les tout-petits, instinctivement, font exactement ce qu'il faut pour progresser rapidement dans l'apprentissage de leur langue.



© Source : Patricia K. Kuhl

Statisticien en herbe

La fréquence statistique des sons influe sur le cerveau des tout-petits. Dans une étude réalisée sur des enfants de 6 mois à Seattle, aux États-Unis, et à Stockholm, en Suède, nous avons démontré que chaque groupe se concentrait déjà sur les voyelles de sa langue natale. L'environnement linguistique commence très tôt à s'insinuer dans le cerveau du bébé et à influencer la manière dont il perçoit les sons.

Que se passe-t-il exactement ? Jessica Maye a montré que le cerveau, à cet âge, a la plasticité requise pour modifier la perception des sons. Un bébé japonais qui entend les sons de la langue française distingue les sons /r/ et /l/ à la manière d'un petit Français. Et bien sûr, l'inverse est tout aussi vrai. Il semble qu'apprendre des sons entre 6 et 12 mois permet d'établir dans le cerveau des connexions associées à sa langue maternelle et à celles auxquelles l'enfant est exposé au cours cette période.

Plus tard, au cours de l'enfance et surtout à l'âge adulte, le fait d'être au contact d'une nouvelle langue ne produit pas d'effets aussi spectaculaires. Une personne qui voyage à l'étranger peut entendre les sons caractéristiques de la langue locale, mais cette expérience n'influe pas sur son

Ces dernières années ont vu l'explosion des techniques d'imagerie cérébrale qui suivent, sans inconfort pour le volontaire, l'activité du cerveau durant une tâche cognitive. Même de très jeunes bébés peuvent participer.

Deux types de méthodes sont disponibles : d'une part, celles à haute sensibilité temporelle, telles l'électroencéphalographie (EEG) et la magnétoencéphalographie (MEG), fondées sur l'enregistrement direct de l'activité électrique des neurones ; d'autre part, celles à haute sensibilité spatiale, telles que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la spectroscopie dans le proche infrarouge (NIRS).

Ces deux dernières reposent sur la concentration en oxy- et déoxyhémoglobine dans les vaisseaux irriguant la région cérébrale activée. L'hémoglobine, la molécule transportant l'oxygène dans les globules rouges, a en effet des propriétés magnétiques (IRM) et d'absorption de la lumière (NIRS) qui varient en fonction de son état – oxygéné ou non. Ces variations sont cependant trop lentes pour suivre une succession d'opérations cognitives, qui sera mieux décrite avec l'EEG et la MEG. Aussi les techniques sont-elles en général combinées pour étudier où, quand et comment nos cellules « grises » perçoivent, raisonnent et agissent.

Il y a une vingtaine d'années, ces techniques ont révolutionné la compréhension du développement cognitif de l'enfant. Jusqu'alors, seules des expériences indirectes utilisant la succion ou le temps de regard permettaient d'étudier les capacités cognitives du jeune enfant. Si certains scientifiques et médecins pensaient que le nourrisson de quelques jours n'était que vide et confusion, l'imagerie a montré qu'il n'en était rien.

Les grands réseaux cérébraux décrits chez l'adulte sont observés chez le nourrisson. On retrouve notamment le même réseau de régions cérébrales qui s'activent à l'écoute de la parole, avec déjà un traitement préférentiel dans l'hémisphère gauche. Ces asymétries fonctionnelles sont une caractéristique très particulière du fonctionnement du cerveau humain, que l'on a longtemps cru être une conséquence de l'apprentissage. En fait, nous les retrouvons déjà chez le prématuré, né à six mois de grossesse, quand les informations du monde extérieur commencent à parvenir à la plaque corticale. À cet âge, les neurones sont toujours en train

de migrer de leur site de multiplication, au centre du cerveau, vers leur emplacement définitif, à la périphérie. L'organisation cérébrale est donc en grande partie déterminée à un stade très précoce du développement et l'environnement ne fait qu'affiner une architecture largement déterminée pendant la grossesse.

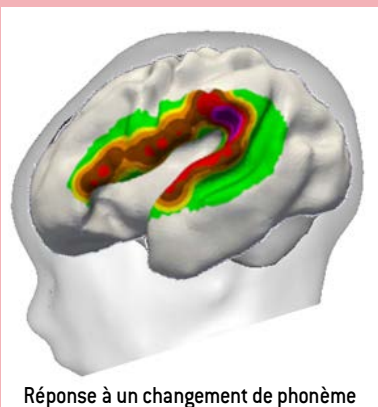
Un deuxième résultat important dû à l'imagerie cérébrale a été l'implication précoce des régions frontales dans la cognition du bébé. Ces régions importantes pour l'attention, la planification, la conscience de soi et du monde, et des fonctions cognitives de contrôle, ont un développement lent et prolongé jusqu'à l'adolescence. Elles étaient donc jugées trop immatures pour être fonctionnelles dans les premières années de vie. Or ce n'est pas le cas. Elles s'activent quand le bébé reconnaît sa langue maternelle ou la voix de sa mère. Elles sont donc sans doute cruciales pour orienter l'attention du bébé vers un stimulus pertinent de son environnement et dans la découverte des relations particulières telles que la causalité entre deux événements, la simultanéité, l'équivalence, et ainsi faciliter l'apprentissage.

Les résultats d'imagerie cérébrale révèlent donc un nourrisson actif dans son apprentissage,

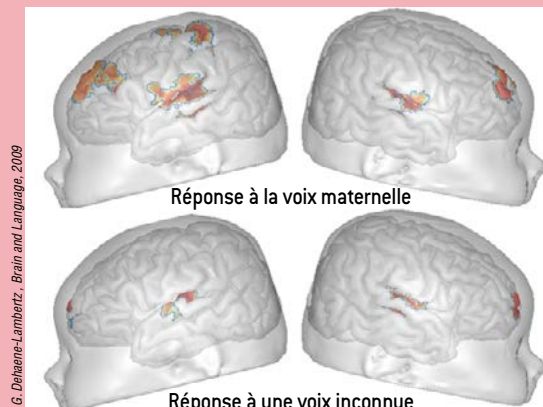
battant en brèche l'idée classique d'une argile que façonne le monde extérieur. L'organisation cérébrale est primordiale, car c'est l'architecture de ces réseaux qui va faciliter la découverte de certaines propriétés de l'environnement, telles les règles de la langue maternelle ou des relations entre individus.

On comprend donc que la mise en place de cette architecture est complexe et que de plus en plus de maladies neurologiques, mais aussi psychiatriques tel l'autisme, ou du développement cognitif, telle la dyslexie, sont liées à un défaut de cette mise en place, dû à un problème génétique, infectieux, toxique ou autre pendant la grossesse. L'imagerie devrait aider à rechercher des marqueurs signalant des difficultés futures, notamment dans des populations à risques (prématurés, fratries de patients autistes, etc.). L'objectif est d'arriver à compenser les difficultés avant qu'elles ne deviennent invalidantes. La fonction du cerveau est d'apprendre et de s'adapter pour être de plus en plus efficace. C'est cette dynamique qu'il faut arriver à soutenir en apportant une stimulation adaptée, quand l'architecture interne ne guide plus l'apprentissage.

– Ghislaine Dehaene-Lambertz
Laboratoire de neuro-imagerie
du CEA, CNRS



Réponse à un changement de phonème



Réponse à la voix maternelle

Réponse à une voix inconnue

Réponses cérébrales

À gauche, des zones du cerveau mesurées en spectroscopie optique (NIRS) chez le prématuré s'activent quand la syllabe entendue change. À droite, le bébé de 2 mois réagit différemment à la voix de la mère ou à une voix inconnue (IRMf). Les asymétries hémisphériques témoignent d'un plan architectural fonctionnel précoce.

cerveau. C'est pourquoi il est si difficile d'apprendre une nouvelle langue lorsqu'on est adulte.

Une deuxième forme d'apprentissage statistique du langage permet aux enfants de reconnaître des mots dans leur globalité. En tant qu'adulte, nous distinguons le début et la fin des mots de notre langue. Mais être capable d'isoler des mots dans un torrent de paroles requiert un processus mental complexe.

Jenny Saffran, aujourd'hui à l'université du Wisconsin à Madison, et ses collègues ont été les premiers à découvrir que les bébés utilisent l'apprentissage statistique pour saisir les sons de mots complets. Au milieu des années 1990, ils ont publié des données montrant qu'un enfant de 8 mois apprend des unités de base similaires à des mots en se fondant sur la probabilité qu'une syllabe en suive une autre. Prenez l'expression « Oh ! mon joli bébé ». La syllabe « jo » est plus susceptible d'être suivie de « li » que d'une autre syllabe comme « la ».

Dans cette étude, les chercheurs faisaient écouter à des bébés des paroles synthétisées par ordinateur et dépourvues de sens. Les mots contenaient des syllabes, certaines apparaissant ensemble plus souvent que d'autres. La réaction des bébés révélait s'ils s'attendaient, ou non, à certains enchaînements de sons.

La découverte de cet apprentissage statistique des bébés a suscité un énorme enthousiasme. Cette nouvelle théorie allait au-delà de l'idée dominante, selon laquelle l'enfant n'apprenait le langage que par le conditionnement parental et les retours qu'il

avait sur les mots prononcés (« Non, on ne dit pas comme ceci, mais comme cela »). L'apprentissage commence bien avant.

En 2003, dans mon laboratoire, nous avons montré que l'écoute passive ne suffit pas dans le processus d'apprentissage

Les bébés de 8 à 10 mois sont sensibles aux phonèmes de leur langue natale le plus souvent prononcés

statistique. Les interactions sociales sont un élément essentiel. Nous avons mené une expérience sur des enfants de 9 mois, vivant à Seattle, et que l'on a exposés au mandarin. Nous voulions ainsi préciser les aptitudes infantiles à capter les phonèmes du mandarin grâce à l'apprentissage statistique.

Par groupes de deux ou trois, ces petits enfants ont joué avec des natifs de Chine qui leur parlaient en mandarin. Deux autres groupes ont été exposés à cette même langue, l'un par le biais d'une vidéo et l'autre au moyen d'un enregistrement audio. Un quatrième groupe d'enfants, non mis au contact de cette langue, a constitué le groupe témoin. Des étudiants américains leur parlaient anglais, tout en jouant aux mêmes jeux avec eux. L'expérience s'est déroulée en douze séances étalées sur un mois.

Les enfants ont ensuite été soumis, en laboratoire, à des tests afin d'évaluer leur aptitude à distinguer les phonèmes spécifiques au mandarin. Seul le groupe en contact avec des locuteurs natifs a saisi

les phonèmes étrangers. En fait, leur performance s'est révélée identique à celle d'enfants de Taipei qui entendaient parler leurs parents depuis la naissance.

Les enfants exposés au mandarin par le biais d'un écran ou d'une bande sonore n'ont rien appris. Leur aptitude à discriminer les phonèmes s'est révélée équivalente à celle des enfants du groupe témoin qui, comme prévu, n'ont pas amélioré leur performance.

Cette étude a montré que, pour le cerveau de l'enfant, l'apprentissage n'est pas un processus passif. Il requiert une interaction humaine, un « cadre social » d'échange. Cette conclusion s'applique aussi à de nombreuses espèces animales. L'expérience que vit un jeune enfant apprenant à parler s'apparente à la manière dont les oiseaux apprennent à chanter.

Avec Allison Doupe, de l'université de Californie à San Francisco, nous avons comparé l'apprentissage chez les bébés et chez certains oiseaux, les diamants mandarins (qui n'ont rien à voir avec le chinois...). Nous avons constaté que l'expérience sociale, dans les premiers mois de l'existence des bébés humains comme des oisillons, est essentielle. Tous s'immergent dans l'écoute de leurs aînés et stockent dans leur mémoire les sons entendus. Ces souvenirs conditionnent les régions motrices du cerveau à produire des sons correspondant à ceux entendus fréquemment dans la communauté au sein de laquelle ils ont été élevés.

La manière dont le contexte social contribue à l'apprentissage d'une langue chez les humains reste à déterminer. Je pense,

Naissance	1-5 mois	6 mois	8 mois	12 mois
				
Les nouveau-nés reconnaissent et préfèrent leur langue maternelle, comparée à celles d'étrangers ou à de la musique.	Les nourrissons reconnaissent les sons et les syllabes de leur langue dans des énoncés différents.	Les nourrissons babillent et peuvent associer les mouvements des lèvres à des sons.	Les nourrissons produisent leurs premières voyelles et peuvent détecter les frontières de groupes syntaxiques.	Les enfants comprennent et produisent leurs premiers mots.

cependant, que les parents et les autres adultes procurent à la fois la motivation et l'information nécessaires à l'apprentissage linguistique des enfants. La motivation est pilotée par le système de récompense du cerveau et en particulier les zones cérébrales qui utilisent la dopamine, un neurotransmetteur, dans les moments d'interaction sociale. Au laboratoire, nous avons montré que les bébés apprennent mieux en présence d'autres bébés – et nous menons actuellement des études visant à comprendre pourquoi.

L'apprentissage passe par le regard

Les bébés qui plongent leur regard dans celui de leurs parents reçoivent aussi des signaux sociaux essentiels qui accélèrent la phase d'apprentissage ultérieure : la compréhension de la signification des mots. Andrew Meltzoff, de l'université de Washington, a montré que dans les deux premières années de leur vie, les jeunes enfants qui suivent le regard d'un adulte saisissent davantage de vocabulaire que ceux qui ne traquent pas ce mouvement.

Le lien entre le regard et la conversation expliquerait pourquoi le simple fait de regarder une vidéo n'est pas suffisant. Dans le groupe instruit *in vivo*, les enfants voyaient le professeur jeter un coup d'œil vers un objet tout en le nommant, cette action subtile reliant le mot à la chose nommée.

Le rôle de la composante sociale au début de l'apprentissage du langage expliquerait aussi certaines difficultés des enfants qui développent des troubles tels que certaines formes d'autisme. Ceux-ci manquent d'intérêt fondamental pour le langage. En revanche, ils



L'IMAGERIE CÉRÉBRALE, ici par magnétoencéphalographie, ouvre des perspectives prometteuses pour comprendre comment le bébé acquiert le langage, mais aussi pour diagnostiquer des difficultés d'apprentissage.

fixent des objets inanimés et ne parviennent pas à prêter attention aux signaux sociaux, si essentiels à l'apprentissage de la langue.

L'aptitude de l'enfant à apprendre à parler ne dépend pas seulement de sa capacité d'écoute vis-à-vis des adultes, mais aussi de la façon dont ces derniers lui parlent. Partout dans le monde, les chercheurs qui écoutent les gens parler aux tout-petits ont

constaté qu'un adulte ne parle pas à un enfant comme à un autre adulte. En anglais, les ethnologues et les linguistes nomment ce phénomène *baby talk* (le parler bébé) ou *motherese*, ce qui se traduirait par le «mama-nais». On le retrouve dans la plupart des cultures. Au départ, on se demandait si le parler bébé entravait l'apprentissage de la langue. Or de nombreuses études ont

18 mois



Les enfants comprennent des phrases et produisent leurs premiers verbes. Ils utilisent le contexte pour donner un sens aux mots.

2 ans



Les enfants comprennent des phrases de plus en plus complexes et produisent leurs premières phrases.

3 ans



Les enfants ont acquis la grammaire de leur langue.

4-5 ans



Les enfants ont acquis le langage oral et ils ont leurs premières expériences avec le langage écrit.

montré que cette langue interactive aide l'apprentissage de l'enfant. Et le parler bébé n'est pas une invention récente : Varron (116-27 avant notre ère), expert romain de la syntaxe, avait noté que certains mots raccourcis n'étaient utilisés, dans l'Antiquité, que pour s'adresser aux bébés et aux jeunes enfants.

Plusieurs équipes ont analysé les sons spécifiques du parler bébé. Celui-ci intrigue les enfants grâce à la tonalité aiguë, le rythme plus lent et l'intonation exagérée. Lorsqu'on lui donne le choix, l'enfant préfère écouter des enregistrements audio de mères parlant bébé plutôt que ceux des mêmes mères s'adressant à des adultes. La voix haut perchée semble agir comme un hameçon sonore qui capte et retient l'attention de l'enfant.

Le parler bébé accentue les différences entre les sons – un phonème est ainsi plus facile à reconnaître et à mémoriser. Dans le cadre d'une étude récente effectuée par mon groupe, Nairán Ramírez-Esparza, aujourd'hui à l'université du Connecticut, a équipé des petits enfants de magnétophones miniatures de haute-fidélité, fixés sur des vestes légères qu'ils devaient porter chez eux, au cours de la journée. Ces enregistrements nous ont permis de pénétrer le monde auditif des tout-petits. Ils ont montré que lorsque les parents leur parlaient bébé, ces enfants apprenaient en un an deux fois plus de mots que ceux dont les parents utilisaient peu ce type de langage.

Détecter les difficultés d'apprentissage

Les spécialistes du cerveau qui étudient le développement infantile espèrent utiliser nos connaissances de plus en plus précises en la matière pour identifier des signatures de l'activité cérébrale – des biomarqueurs – indiquant si l'enfant rencontre des difficultés dans l'apprentissage du langage. Au cours d'une étude récente, nous avons fait écouter à des enfants âgés de 2 ans et atteints de troubles autistiques des mots connus ou inhabituels, et nous avons simultanément enregistré l'activité électrique de leur cerveau.

Nous avons découvert que la fréquence à laquelle apparaissait un motif particulier

Les interactions sociales sont un élément essentiel dans l'apprentissage du langage par les bébés

d'ondes cérébrales en réponse à des mots connus prédisait les aptitudes linguistiques et cognitives futures des enfants, vers l'âge de 4 à 6 ans. Cette étude confirme l'importance des interactions sociales dans l'apprentissage du langage chez les bébés. Si un jeune enfant a la capacité d'apprendre des mots socialement, cela augure bien, en général, de son avenir en matière d'apprentissage.

Nous progressons aussi dans la recherche d'un moyen d'évaluer le développement infantile grâce à de nouveaux outils jugeant la capacité des bébés à détecter des sons. Mon groupe de recherche commence à utiliser la magnétoencéphalographie (MEG), une technique d'imagerie non invasive et ne présentant aucun danger, pour montrer comment le cerveau réagit au langage. Les capteurs sont placés à l'intérieur d'un dispositif dont la forme évoque un énorme sèche-cheveux (*voir la photo page précédente*). Quand l'enfant est assis à l'intérieur de la machine, les capteurs mesurent de minuscules champs magnétiques indiquant que des neurones spécifiques déclenchent une réponse dans le cerveau du bébé, pendant qu'il écoute des paroles. Avec la MEG, nous avons déjà montré qu'il existe une période sensible au cours de laquelle les bébés semblent se consacrer à la répétition mentale pour se préparer à parler leur langue maternelle.

La MEG est trop onéreuse et difficile à utiliser dans un établissement médical de taille modeste. Mais ces études ouvrent la voie en identifiant des biomarqueurs qui finiront par être mesurés à l'aide de capteurs portatifs, peu coûteux et utilisables en dehors d'un laboratoire universitaire.

Si des biomarqueurs fiables de l'apprentissage du langage sont mis en évidence, ils serviront à détecter chez l'enfant un éventuel risque de dysfonctionnement précoce lié au langage : troubles du spectre autistique, dyslexie, syndrome de l'X fragile et autres types d'anomalies. Et en progressant ainsi dans la compréhension de cette faculté unique du cerveau humain – et des moments les plus opportuns pour agir dessus –, nous serons peut-être en mesure d'administrer des traitements suffisamment tôt pour améliorer la vie future de certains enfants. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

P. Kuhl, *Early language learning and the social brain*, Symposium de biologie quantitative de Cold Spring Harbor, vol. 79, pp. 211-220, 2014.

P. Kuhl et al., *Brain responses to words in 2-year-olds with autism predict developmental outcomes at age 6*, *PLoS One*, vol. 8, n° 5, article n° e64967, 2013.

P. Kuhl, *Brain mechanisms in early language acquisition*, *Neuron*, vol. 67, n° 5, pp. 713-727, 2010.

A. Gopnik, A. Meltzoff et P. Kuhl, *The Scientist in the Crib : Minds, Brains, and How Children Learn*, William Morrow, 1999.



Abonnez-vous à POUR LA SCIENCE

Plus de
24%
de réduction

OFFRE LIBERTÉ
4,90€
PAR MOIS
SEULEMENT

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

PAS465

☒ **OUI**, je m'abonne à **Pour la Science** formule Découverte.
Je règle par prélèvement automatique de 4,90€ par mois et
je complète l'autorisation ci-contre. **J'économise 24% par mois.**
(IPV4E90)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____

@ _____

J'accepte de recevoir les informations de **Pour la Science** ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/07/16 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à **Pour la Science**. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre.

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier

Pour la Science - 8 rue Férou - 75006 Paris

N° ICS FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Joindre un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire