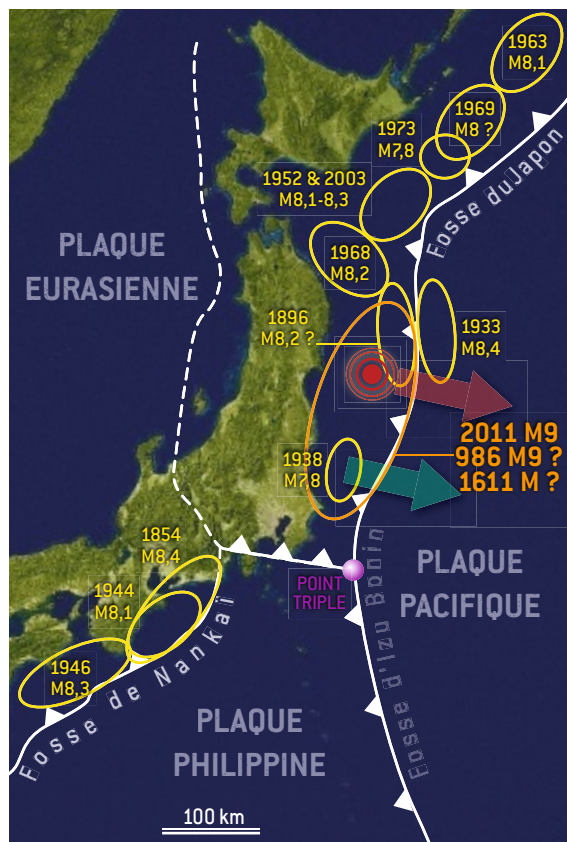


Que peut-on déduire de ce tableau quant à la fréquence des mégaséismes sur la faille de la fosse du Japon ? À une vitesse de subduction de neuf centimètres par an et si l'on suppose que seulement un quart du mouvement est compensé par les séismes séculaires, un mouvement de 20 à 30 mètres correspond à quelque 300 ou 400 ans d'accumulation de contraintes sur la faille, et donc à un intervalle inter-sismique au moins aussi grand.

Par ailleurs, le suivi sismographique depuis 1896 avait plutôt conduit les sismologues à définir des zones de rupture d'une taille de 100 à 200 kilomètres de long. Le plan de rupture du mégaséisme du 11 mars 2011 est bien plus long et son aspérité s'étend – sans les recouvrir complètement – sur les zones de rupture de plusieurs séismes précédents. Il apparaît en plus que la partie centrale de la rupture (là où le mouvement fut maximal) semble s'être déjà à nouveau bloquée, tandis qu'un mouvement postsismique accompagné de nombreuses répliques a commencé au Sud, qui rappelle celui observé au Nord en 1994.

Risque augmenté sur la plaque pacifique

Tous ces mouvements ne peuvent qu'avoir modifié la répartition des contraintes dans la croûte autour de la zone de rupture. Il en résulte une augmentation du risque de séisme dans la plaque pacifique (de la même façon que le séisme de 1896 a favorisé le séisme de 1933) et sur les parties adjacentes du plan de subduction, où se produisent aussi des répliques. Plus au Sud, les fosses de Sagami, où s'est produit le grand séisme de Kanto, en 1923, et de Suruga, où le dernier séisme date de 1854, sont également dans la zone d'influence. La situation y est cependant compliquée par la présence du point triple. Les calculs effectués montrent que l'évolution peut être différente sur chaque portion de faille ; il en résulte que sans carte précise du glissement, il n'est pas encore possible d'apprécier l'évolution du risque dans cette région.



5. L'HISTOIRE SISMIQUE JAPONAISE est bien documentée. Les zones concernées par les séismes de subduction les plus récents sont reportées sur cette carte tectonique du Japon (on a indiqué pour chacun d'eux, l'année du séisme et sa magnitude). On note que deux séismes centenaires, l'un sur la plaque eurasiennne (1896) et l'autre sur la plaque pacifique (1933) ont précédé le mégaséisme du 11 mars 2011. Deux séismes millénaires (986 et 1611) semblent aussi avoir été des mégaséismes. Tandis que le glissement maximal vers l'Est de la plaque eurasiennne (mouvement cosismique) pendant le mégaséisme est indiqué par une flèche rouge, le mouvement qui a suivi au Sud (mouvement postsismique) est indiqué par une flèche verte.

Quoi qu'il en soit, le séisme du 11 mars 2011 montre que des ruptures géantes sont possibles sur la faille de la fosse du Japon. Cette possibilité était déjà présente à l'esprit de certains chercheurs nippons, qui l'avait proposée pour la fosse des Kourilles (qui prolonge celle du Japon au Nord)... Une étude de chercheurs de l'AIIST (le Centre national pour la science et la technologie avancés, le plus grand organisme de recherche du Japon) a en effet montré en 2003 que les dépôts de sable laissés sur certaines côtes japonaises par des tsunamis préhistoriques pouvaient s'étendre en plaine plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres. Pareils dépôts sont sans commune mesure avec les traces laissées par les tsunamis des séismes de 1952 et 1973, pourtant de magnitude respectable (8,1 et 7,8). Les chercheurs de l'AIIST proposaient donc

que des séismes millénaires géants, correspondant à la rupture simultanée de deux segments ou plus de la faille, se sont produits occasionnellement au cours des derniers millénaires, en plus de séismes séculaires dans chaque segment.

La subduction des Cascades, face à la côte de l'Amérique du Nord, entre l'île de Vancouver et le Nord de la Californie, fournit un cas remarquable d'un tel mégaséisme à venir. Malgré notre connaissance limitée de l'histoire sismique de la région, les sismologues ont pu montrer que l'on doit s'attendre à des séismes de magnitudes supérieures à 9 et aux tsunamis d'une trentaine de mètres correspondants. Toutefois, les intervalles entre ces mégaséismes restent mal définis. Un tsunami arrivé au Japon le 26 janvier 1700, et qui n'avait pas été précédé d'un tremblement de terre, a cependant permis de connaître la date du dernier. La probabilité qu'un tel mégaséisme se produise dans les 50 ans à venir serait de dix pour cent.

Dans la fosse du Japon face au Tohoku, les séismes de 1611 et de 869 pourraient correspondre à de tels événements. Des travaux menés par l'Université de Sendai ont mis en évidence en 2001 que le séisme de 869 a produit un grand tsunami dans la baie de Sendai, lequel a laissé des dépôts de sable jusqu'à quatre kilomètres à

l'intérieur des terres. Les chercheurs ont montré que de tels événements exceptionnels se sont produits tous les 1 000 ans environ aux époques préhistoriques, et conclu que le suivant était imminent. Il a eu lieu le 11 mars 2011.

S'il y a désormais un consensus sur ce point, quelles conséquences pratiques en tirer ? Peut-on se protéger contre un tel mégaséisme et son tsunami ? D'un point de vue sismologique, l'histoire de la recherche sur la subduction de la plaque pacifique sous le Japon montre qu'il faut réévaluer régulièrement l'aléa sismique en fonction des nouvelles connaissances. Plus globalement, il se confirme une fois de plus que la pertinence des modèles scientifiques et de leurs prévisions dépend des ingrédients que l'on y met. Or on sait rarement tout d'avance...

Rendez-vous sur www.pourlascience.fr

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur le site.
- Recherchez et commandez les archives parues depuis 2004 de *Pour la Science* et des *Dossiers Pour la Science*.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique

LE MOT JUSTE

Comment le cerveau l'acquiert, le choisit et le produit

- Comment les enfants apprennent leur langue maternelle, É. Cauvet, P. Brusini, I. Brunet et A. Christophe, p. 42
- La production des mots, F.-Xavier Alario, p. 50 • La musique de *Enfin*, Mélanie Petit, p. 56

Le langage parlé – comme le rire – serait le propre de l'homme. Si la capacité de parler est codée dans les gènes, le chemin est long de l'acquisition du vocabulaire et de la grammaire à l'expression du mot juste en toute occasion. Comment l'enfant acquiert-il sa langue maternelle ? Comment trouve-t-on presque toujours le mot juste ? Comment attribue-t-on leur sens aux mots ?

In utero, le fœtus perçoit les sons et en privilégie certains, notamment la voix de sa mère. Dès la naissance, l'enfant apprend à reconnaître les mots de sa langue, avant de leur attribuer un sens. Les scientifiques découvrent que les enfants de 18 mois – voire moins – distinguent un verbe d'un nom, connaissent la signification des mots, alors qu'ils s'expriment encore avec difficulté et n'acquièrent la grammaire que vers deux ans et demi ou trois ans.

C'est aussi à cet âge que l'enfant trouve le mot juste adapté à chaque situation, disposant d'un vocabulaire déjà riche. Les mécanismes cérébraux mis en jeu pour puiser dans ce « sac de mots » se dévoilent : un réseau complexe, qui existerait dès les premiers

mois de la vie, permet d'émettre le mot juste au bon moment, sans y prêter attention. Pourtant, chacun a été confronté aux situations embarrassantes que représentent les lapsus. Ces erreurs d'aiguillage verbal révèlent les conflits cognitifs auxquels le cerveau est sans cesse confronté quand il doit sélectionner le mot juste avant de le produire.

Si attribuer un sens à un mot est une étape essentielle à l'acquisition d'une langue, elle n'est pas facile et recouvre nombre de mécanismes encore plus subtils. Dans la phrase *Enfin, tu arrives*, que signifie *enfin* pour l'enfant à qui l'on s'adresse ? *Ce n'est pas trop tôt, je m'impatientais* ? Ou *Heureusement que tu es là, je m'inquiétais* ? Un même mot, à l'instar de ces « petits » mots tels que *enfin*, peut avoir des sens différents selon l'intonation. L'étude de la musique des mots est l'un des multiples aspects des recherches menées en linguistique et en neurobiologie. Parler semble si simple qu'on en oublie la complexité des mécanismes qui sous-tendent l'acquisition et la production du langage.

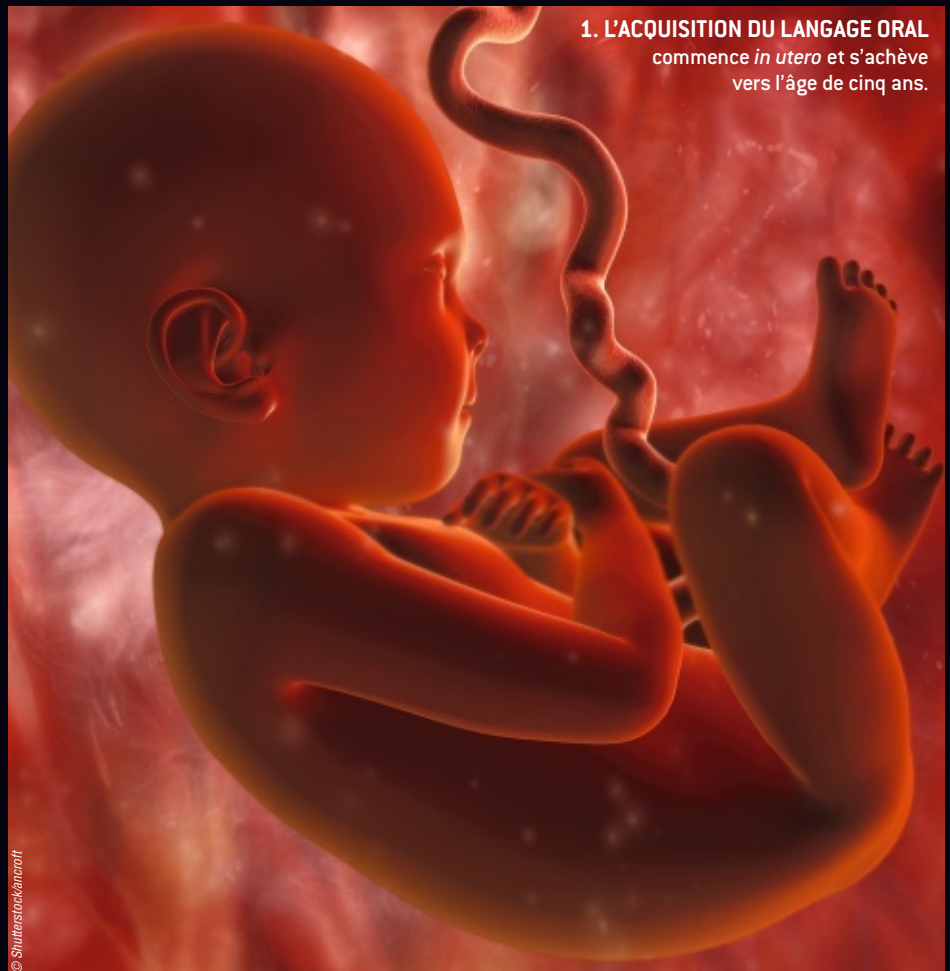
Comment les enfants apprennent leur langue maternelle

É. Cauvet, P. Brusini, I. Brunet et A. Christophe

Les enfants comprennent la structure grammaticale de leur langue maternelle bien plus tôt qu'on ne le pensait, avant même de faire des phrases. Ils s'en serviraient pour apprendre le sens de mots nouveaux.

Le langage est-il inné ? De la naissance à l'âge de trois ans en moyenne, les bébés apprennent, apparemment sans effort, une ou plusieurs langues maternelles. De nombreux arguments suggèrent que cette capacité fait partie du bagage génétique des êtres humains. Tout d'abord, tous les hommes parlent, quels que soient leur culture et leur pays d'origine : on n'a pas trouvé de groupe humain, si reculé soit-il, qui n'ait de langage. Ensuite, toutes les tentatives d'apprendre une langue à d'autres espèces animales, même très évoluées, ont été un échec : les chimpanzés ou les dauphins apprennent un vocabulaire de plusieurs centaines de mots (contre environ 50 000 pour un être humain), mais ne peuvent jamais combiner des mots pour former des phrases.

Qui plus est, l'apprentissage d'une langue ne dépend pas de l'intelligence ; certains enfants naissent avec une difficulté spécifique du langage (ils sont « dysphasiques »), alors que leur intelligence est normale. Et d'autres enfants souffrent d'un retard de développement important, mais ont un langage quasi normal. Enfin, si des enfants naissent dans un environnement linguistique appauvri (on leur parle peu ou ils sont sourds par exemple), ils reconstruisent spontanément la complexité naturelle des langues. Ce phénomène a été observé au Nicaragua dans les années 1980-1990,



lorsque de jeunes sourds ont créé une langue des signes pour communiquer. Ainsi, les enfants humains naissent avec la capacité d'apprendre à parler. Voyons comment elle se développe.

À partir du monde qui l'entoure et de ses prédispositions génétiques, l'enfant apprend une ou plusieurs langues maternelles pour les maîtriser presque complètement à l'âge de trois ans. Il acquiert plusieurs compétences en même temps. Tout d'abord, le flux de paroles à l'oral est continu (alors qu'à l'écrit, les mots sont séparés) et l'enfant doit extraire les mots de ce flux de paroles. Les langues utilisent un répertoire de sons différents (les consonnes et les voyelles), et l'enfant apprend à représenter les mots à l'aide des sons pertinents pour sa langue maternelle. Il doit aussi mettre un sens sur chacun des mots, afin d'acquérir le vocabulaire. Puis il combine les mots selon les règles de sa langue (la syntaxe) pour former des phrases et transmettre des informations.

Nous allons préciser comment l'enfant franchit ces différentes étapes, qui se chevauchent dans le temps (voir la figure 2). Par exemple, lorsque quelques mots ont été extraits et ont reçu un sens, ils aident à délimiter les nouveaux mots qui les encadrent et à restreindre les sens possibles des autres mots. En outre, nous allons voir que l'enfant utilise le contexte des mots et la syntaxe des phrases bien avant de savoir lui-même prononcer des phrases, ce qui lui permet de donner un sens aux mots nouveaux.

Certains chercheurs sont convaincus que les enfants n'ont pas du tout accès à la structure syntaxique, ni aux différentes catégories grammaticales, avant l'âge de deux ans et demi ou trois ans, âge auquel ils commencent à prononcer des phrases plus complexes. De ce fait, ils pensent que l'acquisition du lexique s'effectue en l'absence de connaissances syntaxiques. Selon eux, les enfants de moins de deux ans répètent des morceaux de phrases qu'ils ont déjà entendus, et ne peuvent pas généraliser un mot nouvellement appris à d'autres structures syntaxiques que celles où ils l'ont entendu : ils n'ont donc pas encore accès aux catégories grammaticales. Or nos dernières études, que nous allons présenter, prouvent que les enfants de deux ans, voire de 18 mois, sont capables d'utiliser la syntaxe pour donner un sens à un mot.

L'acquisition du langage commence alors que le bébé n'est encore qu'un fœtus

dans le ventre de sa mère. À partir du dernier trimestre de grossesse, le fœtus utilise son oreille interne pour entendre les sons émis par sa mère et ceux de l'extérieur (voir la figure 1). La paroi utérine et le liquide amniotique forment un filtre qui atténue les sons extérieurs ; leur perception auditive est donc différente et ressemble à ce que vous entendriez si vous étiez dans une piscine. Mais le fœtus perçoit les voix même modifiées ; dès la naissance, le nouveau-né préfère écouter des gens parler, plutôt que du bruit.

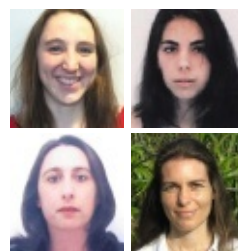
Avant la naissance, la voix de la mère est celle que le fœtus entend le mieux et le plus distinctement, car elle est non seulement transmise par le milieu extérieur, mais aussi par l'intérieur du corps. En 2003, en mesurant le rythme cardiaque du fœtus, Barbara Kisilevsky, de l'Université d'Ontario au Canada, et ses collègues ont montré que le fœtus reconnaît la voix de sa mère par rapport à celle d'une inconnue : en effet, le rythme cardiaque accélère quand on lui fait entendre la voix de sa mère, tandis qu'il ralentit s'il s'agit de l'inconnue. En outre, le fœtus perçoit déjà le rythme et la mélodie, c'est-à-dire la prosodie (l'intonation), de sa langue maternelle.

La voix de la mère

En 1988, Jacques Mehler, de l'École des hautes études en sciences sociales à Paris, et ses collègues ont montré que les nouveau-nés préfèrent écouter leur langue maternelle plutôt qu'une langue étrangère. Pour ce faire, ils ont relié une tétine, placée dans la bouche du bébé, à un capteur de pression, et ils ont fait écouter des phrases françaises et russes à des enfants nés de parents francophones ; ils ont observé que les nouveau-nés têtent davantage pour entendre leur langue maternelle que pour écouter une langue étrangère.

L'audition fœtale de la langue maternelle influe non seulement sur la perception de la parole, mais aussi sur la production orale du nouveau-né : en 2009, en collaboration avec Birgit Mampe, à l'Université de Würzburg en Allemagne, et ses collègues, nous avons montré que le contour mélodique – c'est-à-dire les variations d'intonation – des pleurs du bébé dépend de celui de sa langue maternelle ; les bébés allemands pleurent plus fréquemment avec un contour mélodique proche des phrases de l'allemand, tandis que les pleurs des bébés français

LES AUTEURS



Elodie CAUVET, Perrine BRUSINI et Isabelle BRUNET travaillent au Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistiques du CNRS et de l'École normale supérieure à Paris, dirigé par Anne CHRISTOPHE.

L'ESSENTIEL

✓ Un fœtus reconnaît déjà la voix de sa mère – comparée à celles d'inconnues – et en perçoit le rythme et la mélodie.

✓ L'enfant apprend ensuite à reconnaître les sons de sa langue, puis à extraire les mots des phrases, avant de leur attribuer un sens.

✓ Le contexte et la syntaxe des phrases permettraient à l'enfant de 18 mois de donner un sens aux mots nouveaux.

✓ Ces capacités précoces de grammaire sont-elles innées ? On l'ignore.

suivent le plus souvent un contour reflétant le phrasé du français.

Puis, après la naissance, les bébés ont accès à des propriétés acoustiques plus fines de leur langue, notamment les sons qui la composent – les consonnes et les voyelles, ou phonèmes. En français, pour les consonnes, les sons *b* et *v* permettent de discriminer des mots : *boire* et *voir*. Cependant, toutes les langues n'utilisent pas cette distinction : par exemple, en espagnol, il n'y a que le son *b*. Les locuteurs adultes perçoivent très bien les distinctions utiles dans leur langue, mais sont incapables d'entendre celles qui ne servent pas. Par exemple, le japonais ne possède pas le contraste entre les sons *r* et *l* et les adultes japonais n'entendent pas la différence entre ces deux sons. De même, les Français ne perçoivent pas les différences d'accent tonique utilisées en espagnol ou en anglais, ni celles de tons présentes dans certaines langues, tels le chinois et le thaï.

Les jeunes enfants doivent donc apprendre à percevoir les sons spécifiques de leur langue maternelle et à ignorer ceux qui ne servent pas. Plusieurs expériences ont montré que les enfants acquièrent les catégories de consonnes et de voyelles propres à leur langue entre 8 et 12 mois : avant l'âge de huit mois, les jeunes enfants différencient tous les contrastes sonores utilisés dans les langues du monde, qu'ils appartiennent ou non à leur langue maternelle. Après l'âge de 12 mois, à l'instar des adultes les entourant, ils sont incapables de discerner des sons qui n'existent pas dans leur langue maternelle.

C'est Janet Werker, de l'Université de Vancouver au Canada, qui a pour la première fois en 1986 réalisé ce type d'expé-

rience. Elle a entraîné des bébés de 6, 8, 10 et 12 mois à tourner la tête lorsqu'un changement de syllabe se produisait, puis elle a testé deux syllabes provenant du hindi, deux variantes de la syllabe *ta*. L'une contenait un *t* dit dental (celui que l'on trouve en français et en anglais), l'autre un *t* dit rétroflexe qui n'existe ni en français ni en anglais. De fait, les bébés anglophones de six mois distinguaient les deux types de syllabes, puis perdaient progressivement cette capacité jusqu'à devenir incapables de les distinguer à l'âge de 12 mois. En revanche, un groupe de bébés dont la langue maternelle était le hindi, testés à l'âge de 12 mois, pouvaient entendre la différence entre ces deux syllabes.

Découper les mots

Beaucoup d'adultes s'adressent aux jeunes enfants de façon particulière : l'intonation est gaie, le rythme de parole ralenti, le vocabulaire et la structure des phrases se simplifient. On sait que cette parole dirigée vers les enfants attire leur attention, notamment à cause de son contenu affectif. De plus, son débit lent et sa mélodie exagérée rendent plus saillantes les caractéristiques prosodiques de la langue maternelle, et peuvent aider les enfants, par exemple, à découper les phrases en mots.

En effet, l'une des sources d'information que les enfants utilisent pour découvrir les mots dans les phrases est l'intonation et le rythme de la parole, c'est-à-dire sa prosodie. Lorsqu'on parle (aux enfants ou à d'autres adultes), on ne produit pas une suite de syllabes toutes équivalentes sur un ton monocorde. Au contraire, les mots sont regroupés dans de petites unités d'into-

nation. Par exemple, une phrase comme *le petit garçon a mangé une pomme* sera produite selon deux unités, *le petit garçon* et *a mangé une pomme*.

En 2010, nous avons montré que les enfants de 16 mois perçoivent ces unités prosodiques et les exploitent pour découvrir les frontières de mots. Dans cette expérience utilisant la technique de conditionnement de l'orientation du regard, des enfants sont entraînés à tourner la tête vers la gauche pour le mot *balcon* : chaque fois qu'ils entendent *balcon*, s'ils regardent sur leur gauche, ils sont récompensés par un petit nounours qui s'éclaire et qui s'anime (s'ils ne regardent pas, il ne se passe rien et l'expérience continue).

Lorsque les enfants ont appris à réagir au mot *balcon*, ils reviennent une semaine plus tard pour la phase de test. Cette fois, ils entendent des phrases entières, dont certaines contiennent le mot *balcon*, comme [*le grand balcon*] [*faisait face*] [*au cloître du monastère*], tandis que d'autres contiennent les deux syllabes de *balcon*, séparées par une frontière prosodique, comme [*ce grand bal*] [*consacrera leur union*] (les crochets marquent les frontières prosodiques).

Dans cette expérience, les enfants ont réagi plus souvent aux phrases qui contenaient vraiment *balcon* qu'aux autres. Ainsi, les enfants français de 16 mois, comme les adultes, sont capables d'exploiter les frontières prosodiques pour trouver certains mots. Pour aller plus loin et segmenter les unités prosodiques comme *le grand balcon* en mots, les enfants utilisent plusieurs stratégies complémentaires.

L'une d'elles consiste à identifier les mots (ou morphèmes) grammaticaux, à savoir les articles, auxiliaires, terminai-

Naissance	1-5 mois	6 mois	8 mois	12 mois
				
© Shutterstock/Dominer	© Shutterstock/klair	© Shutterstock/Monkey Business Images	© Shutterstock/Marina Dyakonova	© Shutterstock/Dmitry Shironosov
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.

sons verbales, etc. Comme ces petits mots sont fréquents et se produisent le plus souvent en bordure d'unités prosodiques, les enfants les repèrent facilement. En effet, plusieurs expériences ont montré que les enfants reconnaissent déjà les mots grammaticaux de leur langue maternelle avant leur premier anniversaire.

Par exemple, en 2008, Rushen Shi, de l'Université du Québec à Montréal, a montré que des enfants de huit mois, familiarisés avec une suite de syllabes comme *des preuves*, reconnaissent ensuite le mot *preuves* pendant la phase de test (ils regardent plus longtemps vers le haut-parleur qui émet le mot *preuves*). En revanche, un autre groupe d'enfants, familiarisés avec les syllabes *ké preuves*, où *ké* n'est pas un mot grammatical du français, ne reconnaissent pas le mot *preuves* pendant le test. Ainsi, dans une unité prosodique comme *le grand balcon* avec le mot *le* au début, les enfants pourraient identifier *le* comme étant un mot grammatical, ce qui ne laisse plus que *grand balcon* à découper.

Une autre stratégie pour trouver les mots est d'exploiter la probabilité qu'une syllabe en suive une autre. En effet, à l'intérieur d'un mot, la probabilité que la deuxième syllabe suive la première est plus grande qu'entre deux mots. Par exemple, dans la suite de syllabes *grand balcon*, la syllabe *grand* peut être suivie d'un grand nombre de syllabes différentes (parce que n'importe quel nom convient), de sorte que la probabilité que *grand* soit suivi de *bal* est faible. Au contraire, la probabilité que *bal*

soit suivi de *con* est, elle, plus élevée, car le mot *balcon* existe (même si d'autres suites sont possibles, comme *balançoire*).

En 1996, Jenny Saffran, de l'Université de Rochester aux États-Unis, et ses collègues ont montré que les probabilités d'apparition des syllabes permettent aux enfants de moins d'un an de découvrir des mots dans un flux continu de paroles. En effet, après avoir écouté pendant deux minutes une suite de « mots » répétés les uns après les autres sans interruption, par exemple *pakotipibularemipakoti*,

pattes et non du fait qu'il court ou qu'il est noir ou doux par exemple. Se pose à ce moment le problème de la multiplicité des sens soulevé par le philosophe américain Willard Van Orman Quine en 1960. Quels indices permettent à l'enfant d'associer la forme sonore *chien* avec son sens ?

Les enfants utilisent tout d'abord une première série d'indices liés au contexte social et pragmatique de l'interaction de l'enfant avec celui qui lui parle : par exemple, l'attention conjointe, c'est-à-dire la capacité à analyser la direction du regard

du locuteur pour deviner de quoi il parle. Entre 10 et 12 mois, les enfants sont ainsi capables d'analyser le contexte pour apprendre des mots nouveaux.

Par exemple, en 1996, Dare Baldwin, de l'Université d'Oregon, et ses collègues ont comparé deux situa-

tions d'apprentissage. Dans la première, une expérimentatrice, assise à côté de l'enfant, jouait avec lui avec des objets nouveaux, tels des dinosaures de différentes sortes, et disait en même temps : *oh, regarde, un modi ! tu as vu, c'est un modi !*, etc., tout en regardant alternativement le jouet et l'enfant, donc en lui montrant qu'elle parlait du dinosaure. Dans la seconde situation, le téléphone sonnait dès que l'expérimentatrice s'asseyait ; elle se levait pour répondre, puis, parlant au téléphone et tournant le dos à l'enfant, elle énonçait exactement la même série de phrases.

Dans les deux cas, l'attention de l'enfant était tournée vers le nouveau jouet. Dans la phase de test, les expérimentateurs ont montré que seuls les enfants de la

L'HYPOTHÈSE D'INITIALISATION SYNTAXIQUE repose sur l'idée que les très jeunes enfants exploiteraient la syntaxe des phrases où ils entendent des mots nouveaux pour leur donner un sens.

les enfants préféreraient écouter une liste des mots qu'ils venaient d'entendre, comme *pakoti*, plutôt que des mots qui contenaient les mêmes syllabes dans un ordre différent, par exemple *dopabu*.

Dès qu'un mot est extrait, reste à lui assigner un sens et à le rajouter dans le dictionnaire mental, ou lexique. Cette tâche d'assignation, d'apparence anodine, est cruciale et ardue. En effet, rien dans la forme sonore *chien* ne permet de déduire qu'il s'agit de l'animal à quatre pattes : la relation entre le son et le sens est arbitraire. De plus, les situations sont souvent ambiguës : même si vous pointez du doigt vers un chien tout en disant *voilà un chien*, l'enfant doit faire l'hypothèse que vous parlez de la catégorie d'animal à quatre

18 mois



© Shutterstock/Boris Ryaposev

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

2 ans



© Shutterstock/Jamie Dupless

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

3 ans



© Shutterstock/Tom Vigars

Les enfants ont acquis la grammaire de leur langue.

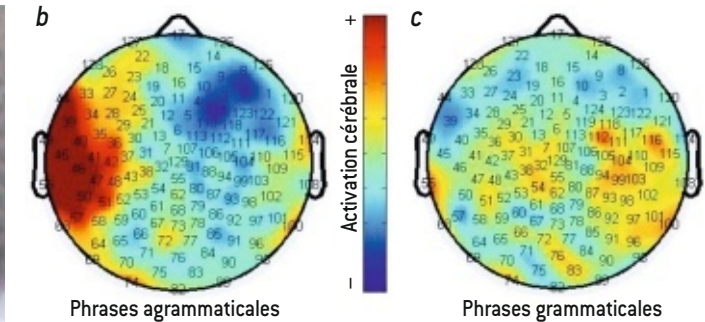
4-5 ans



© Shutterstock/Artim

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

2. CHEZ L'ENFANT, le développement du langage prend en moyenne cinq ans. Si le nouveau-né est capable de reconnaître sa langue maternelle, la production des premiers mots apparaît vers un an et les premières expériences avec le langage écrit vers quatre ou cinq ans.



3. LES ENFANTS DE DEUX ANS connaissent déjà la syntaxe de leur langue maternelle. Pendant qu'ils enregistrent l'activité cérébrale des enfants par électroencéphalographie (a), les chercheurs leur ont fait écouter des phrases grammaticales (correctes) et agrammaticales (incorrectes). Les cercles ci-dessus représentent l'activité électrique mesurée à la surface du scalp, vue du dessus (les oreilles sur les côtés, le nez devant) et moyennée sur une fenêtre temporelle comprise entre 400 et 600 millisecondes. Pour les phrases agrammaticales (b), on observe une importante activité électrique dans la partie gauche du cerveau, proche de l'oreille [région temporale, l'une des aires cérébrales qui traitent le langage chez l'adulte], qui n'est pas présente pour les phrases grammaticales (c).

première situation avaient appris que *modi* désignait le dinosaure ; ceux de la situation du téléphone n'avaient rien appris du tout – ce qui est normal, puisqu'il n'y avait aucune raison de penser que l'expérimentatrice au téléphone parlait de l'objet auquel ils prêtaient attention. Les jeunes enfants peuvent donc identifier visuellement les situations les plus susceptibles de leur apprendre de nouveaux mots.

En 1990, Lila Gleitman, Barbara Landau et leurs collègues, de l'Université de Pennsylvanie aux États-Unis, ont suggéré que les très jeunes enfants peuvent exploiter l'ensemble des structures syntaxiques dans lesquelles un mot nouveau se produit pour deviner une partie de son sens. Cette hypothèse, nommée hypothèse d'initialisation syntaxique, a été développée pour expliquer les étonnantes compétences linguistiques d'une petite fille aveugle. En effet, le vocabulaire de cette petite fille était normal dès l'âge de deux ans, et elle connaissait même la différence subtile entre *voir* et *regarder*, alors qu'en ne voyant pas, elle était privée d'une grande partie des informations concernant le contexte où les mots se produisent.

Comme elles disposaient des enregistrements vidéo de ce que cette petite fille avait entendu au cours de son apprentissage du langage, L. Gleitman et B. Landau ont recherché les différences entre les scènes contenant le mot *voir* et celles contenant le mot *regarder* ; la seule différence provenait des structures syntaxiques, car certaines d'entre elles sont compatibles avec un verbe de perception

passive (voir), mais pas avec un verbe de perception active (regarder), et *vice versa*. Par exemple, on peut dire *je vois que le chien gratte la terre*, mais pas *je regarde que le chien gratte la terre*.

L'importance de la syntaxe

Plus généralement, un verbe de transfert tel *donner* ou *prendre* peut avoir jusqu'à trois groupes nominaux comme arguments (*quelqu'un donne quelque chose à quelqu'un d'autre*), tandis qu'un verbe de pensée, tel *penser* ou *croire*, prend une proposition entière comme complément (*je pense que...*). On retrouve ces relations entre la structure syntaxique et le sens du verbe dans toutes les langues du monde, car elles correspondent à la structure sémantique de ces verbes. Bien qu'elle soit privée des informations visuelles, la petite fille avait un vocabulaire normal, car la structure syntaxique des mots favorisait son apprentissage de mots nouveaux. Ainsi, l'hypothèse d'initialisation syntaxique repose sur l'idée que les très jeunes enfants exploiteraient la syntaxe des phrases où ils entendent des mots nouveaux pour leur donner un sens.

Toutefois, cette hypothèse, contre-intuitive, a été controversée dès sa proposition en 1990. En effet, intuitivement, on s' imagine plutôt que l'enfant travaille « de bas en haut » : il commence par apprendre les sons de sa langue (les phonèmes) entre zéro et un an, puis les mots entre un et deux ans, et s'intéresse

enfin à la syntaxe, qui permet de décrypter les relations entre les mots, à partir de deux ans et demi ou trois ans.

On a d'abord validé l'hypothèse d'initialisation syntaxique avec des expériences sur des adultes ; ces derniers devaient deviner le sens d'un mot à partir de petits extraits vidéo, présentés sans bande sonore, qui montraient une mère jouant avec son enfant. En particulier, en 1999, Jane Gillette, de l'Université de Pennsylvanie aux États-Unis, et ses collègues ont montré que pour deviner un verbe, les adultes y parvenaient mieux s'ils avaient accès aux structures syntaxiques où le verbe était utilisé.

Aujourd'hui, des expériences sur les jeunes enfants viennent conforter l'hypothèse d'initialisation syntaxique. En 2007, nous avons testé si les enfants de deux ans sont capables d'utiliser la catégorie grammaticale d'un mot nouveau (nom ou verbe) pour deviner son sens. La distinction entre verbes et noms est elle aussi signalée par les structures syntaxiques dans lesquelles ces mots apparaissent. Par exemple, *dase* est un nom dans *la dase est jolie*, mais un verbe dans *elle la dase joliment*. Or les noms se réfèrent à des objets, mais les verbes le plus souvent à des actions.

Dans cette expérience, les enfants regardaient une vidéo d'un objet qui accomplit une action simple (par exemple, une pomme qui tourne sur elle-même), en même temps qu'ils entendaient une voix commenter la vidéo. Les phrases contenaient toutes un mot nouveau – *dase* –, et ce mot était présenté comme un nom à un groupe d'enfants (*regarde la dase ! Tu vois la dase ? La dase est*

encore là, etc.), et comme un verbe à un autre groupe d'enfants (*regarde, elle dase! Tu la vois qui dase? Elle dase encore là, etc.*).

Pendant la phase de test, nous présentons deux images à l'enfant, une à droite et une à gauche, en lui demandant de montrer du doigt *la dase* (pour le groupe nom), et *celle qui dase* (pour le groupe verbe). Les résultats montrent que les enfants du groupe verbe pensent que *daser* veut dire *tourner*, tandis que les enfants du groupe nom pensent que *dase* veut dire *pomme*. Donc, à l'âge de deux ans, les enfants utilisent les structures syntaxiques des phrases qu'ils entendent pour déduire la catégorie grammaticale d'un mot nouveau, et contraindre son sens.

Des enfants encore plus jeunes sont-ils sensibles aux contextes dans lesquels les noms et les verbes sont produits? Dans une deuxième expérience, nous avons cherché si les enfants de 18 mois connaissent déjà les contextes d'apparition des noms et des verbes, en utilisant la technique de conditionnement de l'orientation du regard. Les résultats montrent que les enfants reconnaissent le mot cible dans les contextes corrects, c'est-à-dire si

le nom est précédé d'un article ou si le verbe est précédé d'un pronom (*voir l'encadré ci-dessous*).

Ainsi, les enfants de 18 mois qui ne produisent pas (ou très peu) de phrases sont pourtant déjà sensibles à la place des mots dans les phrases. Un mot connu ne peut pas apparaître n'importe où. Les enfants de 18 mois se servent du contexte d'un mot pour le repérer, et de ce fait, pourraient utiliser le contexte d'un mot nouveau pour déterminer son sens.

Combiner les mots pour former des phrases

Une caractéristique du langage humain est qu'il est structuré selon des règles précises et complexes, les règles syntaxiques. Ainsi, le sens d'une phrase n'est pas un simple amalgame du sens des mots qui la composent, mais prend en compte la position des mots dans la structure de la phrase. Par exemple, la phrase *le chien a mordu le facteur* a un sens différent de la phrase *le facteur a mordu le chien*. Et même

✓ BIBLIOGRAPHIE

S. Bernal et al., *Two-year-olds compute syntactic structure on-line*, *Developmental Science*, vol. 12, pp. 69-76, 2010.

B. Mampe et al., *Newborns' cry melody is shaped by their native language*, *Current Biology*, vol. 19, pp. 1994-1997, 2009.

R. Shi et M. Lepage, *The effect of functional morphemes on word segmentation in preverbal infants*, *Developmental Science*, vol. 11, pp. 407-413, 2008.

P. Picq et al., *La plus belle histoire du langage*, Seuil, 2008.

S. Bernal et al., *Syntax constrains the acquisition of verb meaning*, *Language Learning and Development*, vol. 3, pp. 325-341, 2007.

B. de Boysson-Bardies, *Comment la parole vient aux enfants*, Odile Jacob, 1996.

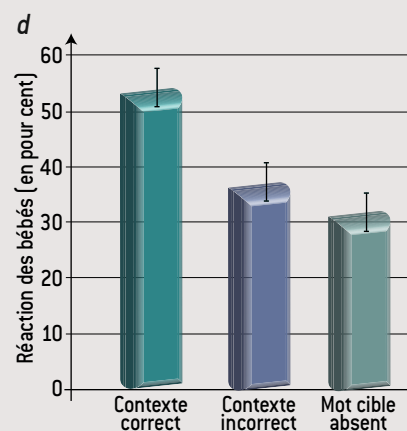
✓ SUR LE WEB

Site du « labo bébé » à l'ENS Paris : <http://sapience.dec.ens.fr/babylab/>

LE CONTEXTE GRAMMATICAL D'UN MOT FACILITE SA RECONNAISSANCE

Le contexte grammatical d'un mot permet à un enfant de 18 mois de le reconnaître. Au cours de l'expérience, la moitié des enfants est entraînée à repérer le nom *balle* et l'autre moitié le verbe *manger*. L'enfant est installé sur les genoux d'un parent et son attention est attirée par une expérimentatrice qui manipule des jouets. Sur la gauche de l'enfant, un haut-parleur émet un mot sans intérêt particulier. Lorsque le mot cible est présenté (*mange* ou *balle*), si l'enfant regarde sur sa gauche, un jouet s'éclaire et s'anime au-dessus du haut-parleur. L'enfant associe le mot cible et le jouet. À la fin de l'entraînement, l'enfant a compris que s'il tourne la tête vers le jouet lorsqu'il entend le

mot cible, alors le jouet s'éclaire. La semaine suivante, l'enfant revient au laboratoire et écoute des phrases, dont un tiers contient le mot cible dans un contexte d'apparition correcte, c'est-à-dire que *balle* est précédé d'un déterminant (*a, J'adore les balles rebondissantes*), un tiers contient le mot cible dans un contexte d'apparition incorrect, c'est-à-dire que *balle* est précédé d'un pronom (*b, Demain, tu balles chez mamie*), et un dernier tiers ne contient pas le mot cible (*c, J'adore les fraises au sucre*). Résultats : les enfants regardent vers le jouet lorsque le mot cible apparaît dans un contexte correct plus souvent que dans un contexte incorrect ou lorsque le mot n'est pas présent (*d*).



Gâce à l'imagerie cérébrale, les chercheurs ont désormais accès aux mécanismes neuronaux qui sous-tendent le langage et son développement. Pour ce faire, ils utilisent chez les jeunes enfants des techniques non invasives telles l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), la topographie optique (la spectroscopie en proche infrarouge ou NIRS, une nouvelle méthode utilisant une lumière proche de l'infrarouge dont la composante réfléchie dépend de l'activation cérébrale) ou l'électroencéphalographie, qui mesure l'activité électrique du cerveau à la surface de la tête. L'IRM fonctionnelle et la NIRS mesurent l'oxygénation du sang et indirectement l'activité cérébrale : plus une région cérébrale est active, plus elle consomme d'oxygène et cette variation d'oxygénation sanguine est mesurée. L'IRM est une technique sen-

sible au mouvement, de sorte que l'on peut tester des nourrissons éveillés ou endormis qui ne bougent pas beaucoup et des enfants dès cinq ou six ans qui restent immobiles dans la machine. En revanche, passé l'âge de quelques mois et jusqu'à cinq ou six ans, les scientifiques privilégient des techniques d'imagerie différentes, telle l'électroencéphalographie, qui ne nécessitent pas une immobilité totale.

L'imagerie permet de compléter les recherches comportementales et d'essayer de répondre aux questions suivantes : les réseaux du langage sont-ils déterminés et actifs dès la naissance ? Sont-ils identiques aux réseaux mis en jeu chez les adultes ?

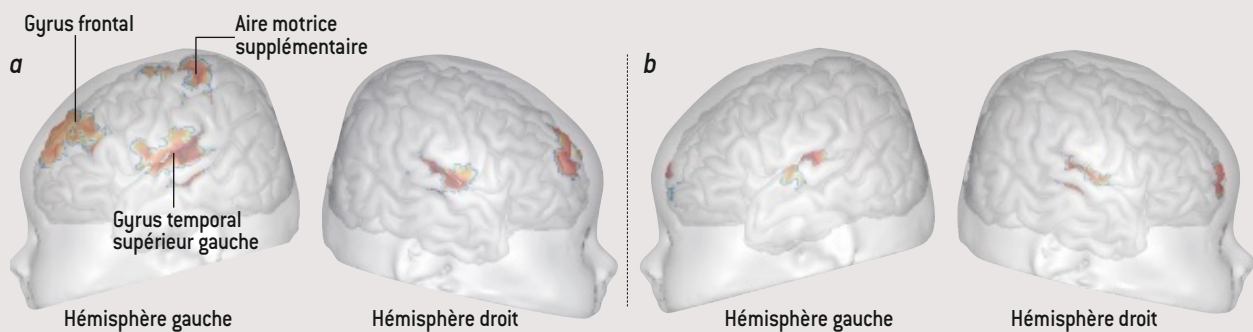
En 2002, Ghislaine Dehaene-Lambertz, qui dirige aujourd'hui l'Équipe de neuro-imagerie du développement de l'INSERM 562 au CEA

à Gif-sur-Yvette, et ses collègues ont fait écouter des phrases à l'enfant ou à l'envers à des nourrissons de deux à trois mois, éveillés dans l'IRM ou qui s'y étaient endormis, et ont enregistré leur activité cérébrale. L'IRMf a montré que le gyrus temporal supérieur (la région temporale) gauche était plus actif dans ces deux cas. Ces régions gauches sont aussi cruciales pour le traitement du langage chez l'adulte, mais sont-elles spécifiques du langage ou traitent-elles tous types de stimulation auditive ? En 2009, la même équipe a montré que l'asymétrie gauche-droite pour le langage n'est pas retrouvée lors de l'écoute de stimulus musicaux.

Qui plus est, en 2011, en utilisant la topographie optique sur des nourrissons français ou japonais de quatre mois, des chercheurs de notre équipe et des chercheurs japonais

ont mis en évidence la latéralisation à gauche du langage, ainsi que la sensibilité particulière à la langue maternelle. Ils ont mesuré l'oxygénation cérébrale pendant que les bébés écoutaient leur langue maternelle, une langue étrangère, des sons humains émotionnels (comme le rire) ou des sons produits par des singes. Dès quatre mois, le cerveau des enfants traite la langue maternelle différemment d'une autre langue ; de plus, le langage engendre des réactions cérébrales localisées uniquement dans l'hémisphère gauche, ce qui n'est pas le cas avec des bruits.

En conséquence, les activations cérébrales des nourrissons face au langage sont assez semblables à celles des adultes, et spécifiques du langage quand on les compare à d'autres stimulations auditives, avec une activation plus importante s'il s'agit de la langue maternelle.



LES NOURRISSONS RECONNAÎSSENT LA VOIX DE LEUR MÈRE. Dans l'hémisphère gauche de bébés de deux mois, les activations du gyrus temporal supérieur, du gyrus frontal et de l'aire motrice supérieure sont plus

importantes quand les enfants entendent la voix de leur mère (a), comparée à celle d'un étranger (b). Ces stimulations cérébrales des nourrissons face au langage sont assez semblables à celles des adultes.

Dehaene-Lambertz et al., Brain and Language, 2010

si la seconde phrase décrit une situation peu plausible, nous n'avons aucune difficulté à imaginer la scène.

L'acquisition des spécificités syntaxiques de la langue maternelle d'un enfant correspond à une étape essentielle du développement du langage. Toutefois, les chercheurs sont partagés quant à l'âge auquel les enfants commencent à avoir des connaissances syntaxiques, et à la façon dont ils ont pu acquérir ces connaissances.

En 2010, pour déterminer si des enfants de deux ans savent repérer si la structure syntaxique d'une phrase est correcte ou non, nous avons utilisé la technique des potentiels évoqués. Celle-ci consiste à mesurer l'activité électrique du cerveau du bébé pendant qu'il écoute des phrases,

à l'aide d'un appareil d'électroencéphalographie (voir la figure 3).

Dans cette expérience, les enfants regardent de petites histoires filmées, dans lesquelles nous avons glissé des phrases-tests : la moitié d'entre elles sont grammaticales, comme *alors elle la mange* et *la poule prend la fraise*, et l'autre moitié sont agrammaticales, parce que nous avons échangé les noms et les verbes, comme dans *alors elle la fraise* et *la poule prend la mange*. Dans tous les cas, le mot critique, *fraise* ou *mange*, est précédé du mot grammatical *la*, qui peut être soit un article, comme dans *la poule prend la fraise*, soit un pronom objet direct, comme dans *alors elle la mange*.

Les résultats montrent une réaction cérébrale très différente pour les phrases

grammaticales par rapport aux phrases agrammaticales. Cette activation cérébrale se produit dans la partie gauche du cerveau – les régions cérébrales où les adultes traitent le langage – et démarre avant même la fin du mot critique, environ 350 millisecondes après le début du mot.

En conséquence, en entendant le début d'une phrase, les enfants de deux ans construisent des attentes sur la catégorie grammaticale du mot qui vient ensuite ; ils peuvent ainsi repérer les cas où il y a une incohérence entre le type de mot attendu et le type de mot qu'ils entendent.

Nous reproduisons en ce moment même cette expérience avec des enfants plus jeunes, âgés de 18 mois. Les résultats préliminaires suggèrent qu'eux aussi distinguent

les phrases grammaticales des phrases agrammaticales. Or jusqu'alors, on pensait que les jeunes enfants n'apprenaient le rôle du mot grammatical *la* comme pronom objet direct que relativement tard : en effet, ils ne commencent à l'utiliser correctement que vers l'âge de deux ans et demi ou trois ans. De fait, cette expérience qui mesure directement l'activité électrique du cerveau dévoile une compétence bien plus précoce que ce qu'on pourrait estimer en se fiant à ce que disent les enfants.

Enfin, dans une troisième expérience, nous avons comparé des phrases grammaticales et agrammaticales en utilisant des mots nouveaux, et non des mots connus des jeunes enfants (comme *fraise* ou *mange*). Par exemple, nous leur avons enseigné que *rane* veut dire *vautour*, et que *dumer* signifie *pêcher du poisson* ; pendant la séance d'apprentissage, l'expérimentatrice faisait attention de ne jamais prononcer ni *le rane* (elle disait *un rane*, *ce rane*, *notre rane*, mais jamais *le rane*) ni *le dume* (elle disait *il dume*, *il a dumé*, *Martin va dumer*, mais jamais *il le dume*). Ainsi, pendant la phase de test (où l'expérimentatrice disait alors *le rane* et *le dume*, mais pas les autres structures utilisées pendant l'ap-

prentissage), aucune des phrases n'avait été entendue par les enfants, qu'elles soient grammaticales ou agrammaticales.

Cette fois encore, nous avons observé des réactions cérébrales différentes pour les phrases grammaticales et agrammaticales. Les enfants de deux ans, après avoir entendu un mot nouveau dans un certain nombre de contextes, sont capables de généralisation : parmi les nouveaux contextes qu'on leur propose, ils savent lesquels sont corrects et lesquels ne le sont pas. L'ensemble de ces résultats montre que les enfants de deux ans possèdent déjà certains éléments de la syntaxe de leur langue. Reste maintenant à découvrir par quel mécanisme d'acquisition les enfants ont réussi à apprendre ces éléments.

Inné ou acquis ?

L'apprentissage du langage par les enfants est sujet à controverse dans le milieu scientifique. En effet, s'il est maintenant admis par l'ensemble de la communauté scientifique que les bébés humains naissent avec des capacités qui leur permettent d'acquiescer un langage, la nature de cette prédisposition innée n'est pas établie.

Certains pensent que cette prédisposition est spécifique au langage et contiendrait tous les aspects de la grammaire, qui sont communs à toutes les langues du monde. C'est la « grammaire universelle », présentée pour la première fois par le linguiste et philosophe américain Noam Chomsky en 1957.

En revanche, d'autres scientifiques pensent que cette capacité est certes spécifique à l'homme, mais non au langage ; par exemple, ce serait la capacité d'effectuer des calculs récurrents, ou encore celle de coopérer et de vouloir spontanément transmettre de l'information à ses congénères.

En pratique, il est difficile de trancher en faveur de l'une ou l'autre théorie. Par exemple, nous avons montré que les enfants de deux ans (et même de 18 mois) ont déjà une connaissance des catégories grammaticales nom et verbe, et des contextes dans lesquels ces catégories sont utilisées. Cela suggère que les enfants ont réussi à apprendre ces notions pendant leurs 18 premiers mois de vie (grâce à une analyse de la parole qu'ils entendent), mais nous ignorons si le mécanisme d'apprentissage est fondé ou non sur des éléments de grammaire universelle. ■

Et tout s'éclaire

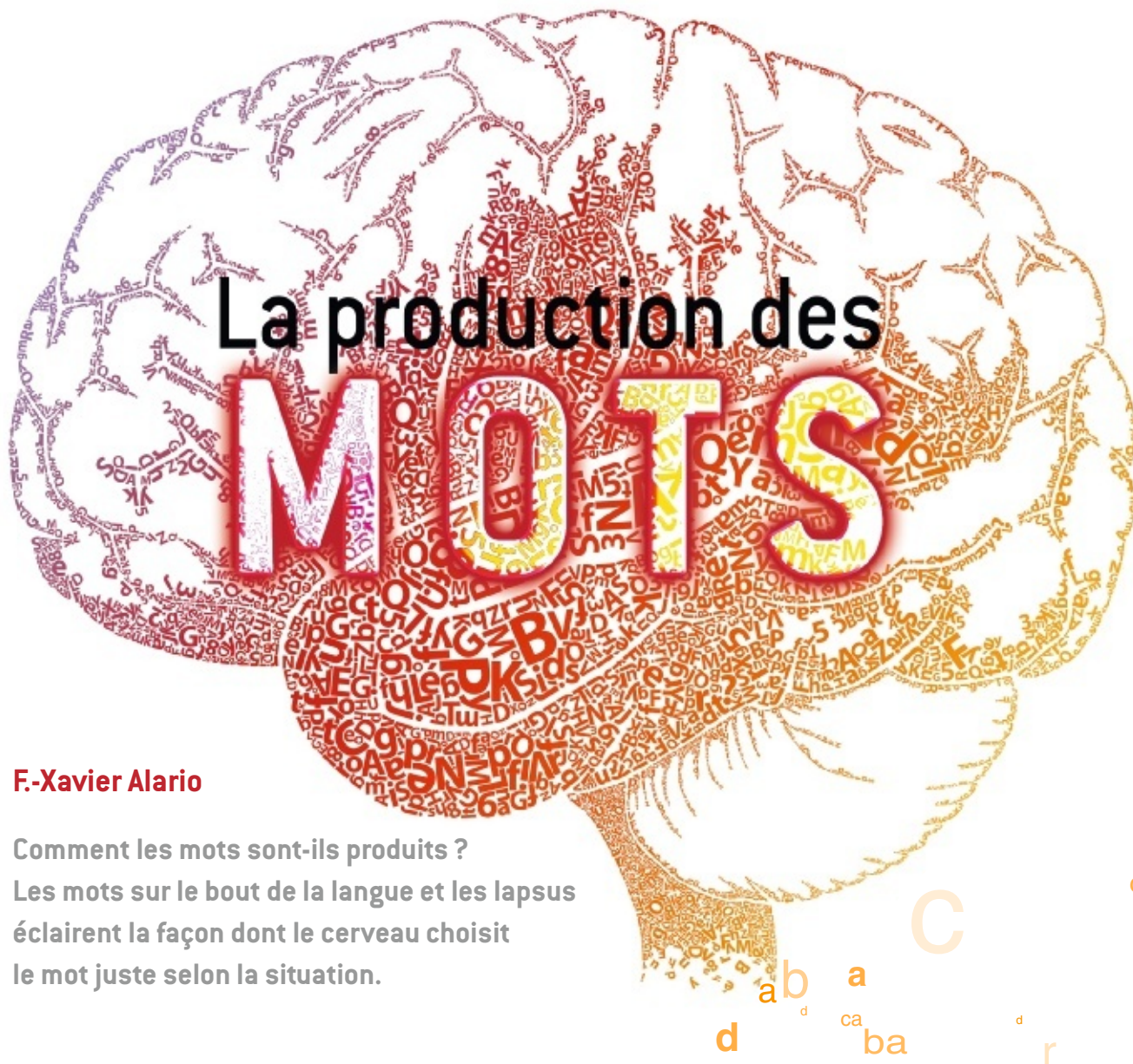
france culture

La marche des sciences
14h/15h jeudi

avec Aurélie Luneau
en partenariat avec le magazine Pour la Science

franceculture.com

DREAM ON - Radio France / Christophe Alzantowitz



F.-Xavier Alario

Comment les mots sont-ils produits ?

Les mots sur le bout de la langue et les lapsus éclairent la façon dont le cerveau choisit le mot juste selon la situation.

En 1981, dans un entretien à la télévision britannique BBC, le physicien Richard Feynman racontait comment il avait essayé d'expliquer à son père l'émission de photons par un atome. « Est-ce que le photon attend quelque part dans l'atome avant d'être émis ? » avait demandé son père, « Et sinon d'où vient-il ? ». Pour répondre, Feynman conta une anecdote concernant son propre fils. Ce dernier découvrait le langage et, un jour, a dit : « Je ne peux plus dire le mot *chat*... je n'en ai plus dans mon sac de mots, j'ai utilisé tous mes mots *chat*. » Et Feynman de clarifier que, de même que l'on n'a pas de sac de mots dont on pourrait épuiser les réserves, l'atome n'a pas à proprement parler de sac où les photons attendraient d'être

émis. Les mots, comme les photons, sont créés au moment de leur émission.

Un sac de mots inépuisable

Allons plus loin dans la description du sac de mots ou, pour utiliser un terme plus précis, du lexique mental. On estime qu'un locuteur adulte connaît plusieurs dizaines de milliers de mots de sa langue (entre 20 000 et 60 000 selon l'individu et la façon dont on les dénombre). L'avantage d'une telle collection de mots est que l'on peut espérer y trouver le ou les mots justes pour chaque occasion. L'inconvénient est qu'elle exige des procédures efficaces pour rechercher ce mot.

Des mécanismes cérébraux performants sont nécessaires pour récupérer les mots en mémoire rapidement, en moyenne trois fois par seconde dans une conversation usuelle. Depuis les publications du médecin, anatomiste et anthropologue français Paul Broca il y a exactement 150 ans, on sait que des lésions de certains sites cérébraux peuvent engendrer des déficits spécifiques de la fonction linguistique. Ainsi, les connaissances linguistiques, par exemple la capacité à produire des mots, sont associées à des régions particulières du cerveau. Aujourd'hui, grâce aux expériences de psychologie cognitive et à l'imagerie cérébrale, on comprend beaucoup mieux comment se fait la sélection des mots dans le lexique mental et comment