

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.

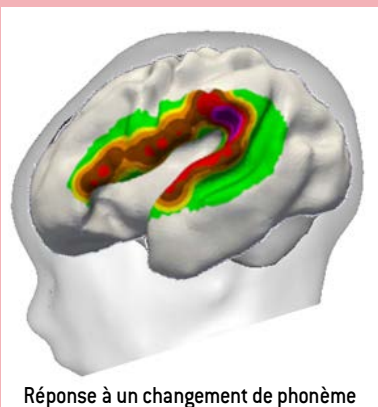
Un deuxième résultat important dû à l'imagerie cérébrale a été l'implication précoce des régions frontales dans la cognition du bébé. Ces régions importantes pour l'attention, la planification, la conscience de soi et du monde, et des fonctions cognitives de contrôle, ont un développement lent et prolongé 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,

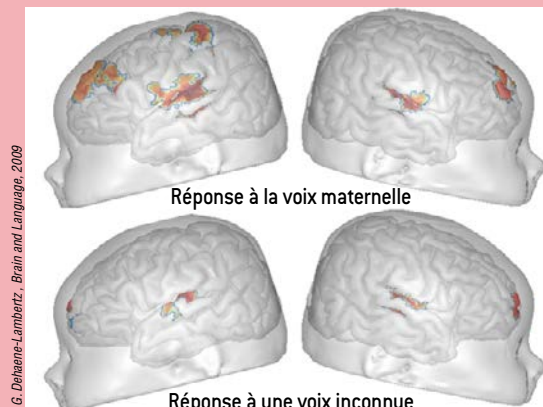
battant en brèche l'idée classique d'une argile que façonne le monde extérieur. L'organisation cérébrale est primordiale, car c'est l'architecture de ces réseaux qui va faciliter la découverte de certaines propriétés de l'environnement, telles les règles de la langue maternelle ou des relations entre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