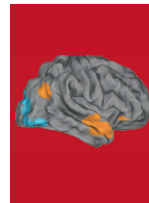


> L'émergence du langage doit son succès à des circonstances favorables de l'Évolution : la genèse neurogénomique du centre moteur frontal pneumo-laryngo-bucco-lingual de Broca, associée au gène *FOXP2* ; l'utilisation, pour la production du langage, de la neuro-fonctionnalité des organes de la respiration et de l'oralité nutritionnelle, efficiente depuis des millions d'années ; et le connectome, la connexion des voies motrices pyramidales et cortico-nucléaires de l'encéphale. Celles-ci, en raccordant le centre de Broca aux effecteurs neuromusculaires de la ventilation et de l'oralité nutritionnelle, ont assuré au langage sa production sonore laryngée et son articulation, qui ont succédé aux cris du nourrisson, ce protolangage. Manger, puis respirer et crier ont constitué une filiation fondatrice du futur langage. <

Manger, respirer, crier, parler, chanter : l'épopée zoologique du langage

Gérard Couly



Comment les fonctions orales alimentaires et respiratoires, anciennement établies, ont-elles été réutilisées mais cette fois aux fins d'émission des cris puis

du langage et du chant ? Quel fut le rôle du gène *FOXP2* (*Forkhead box P2*) [8], découvert en 1998, et associé à la capacité langagière et à celle de chanter chez l'homme ? Comment le réseau de connexions et de voies pyramidales a-t-il raccordé l'aire motrice frontale du langage de Broca aux organes oraux et respiratoires ? [9]

Professeur honoraire de chirurgie maxillo-faciale de l'enfant, Université Paris Descartes-Sorbonne Paris Cité. Directeur honoraire de l'Institut d'embryologie cellulaire et moléculaire du CNRS et du Collège de France. Institut de la vision, Inserm UMR5 968, 17 rue Moreau, 75012 Paris, France. Sorbonne Université, Paris 06, France. gerard.couly@gmail.com

Manger, puis respirer, puis crier : une filiation décisive de l'Évolution pour la genèse future du langage [10-15]

Il y a 550 millions d'années, au Cambrien, la fonction vitale nutritionnelle par prédation a été assurée chez les premiers vertébrés aquatiques grâce à leur cavité orale dentée, alors que la respiration était réalisée par des branchies. Deux cent millions d'années plus tard, au Dévonien, des vertébrés aquatiques ont colonisé la terre ferme [16, 17]. Les branchies ont alors involués, remplacées graduellement par le nouvel appareil respiratoire pulmonaire [18]. La transition des branchies aux poumons a nécessité plusieurs dizaines de millions d'années, attesté par des découvertes paléontologiques, dont celles d'*Acanthostéga*, en 1987, un des

Le comédien français Jacques Weber, interrogé sur la manière de réussir la lecture à voix haute, prodigue les conseils suivants : « *il faut d'abord res-pi-rer ! Puis tel un sportif de la mâchoire, il faut mas-ti-quer ! ... Les muscles de la face révèlent l'articulation et l'architecture des mots...* »¹. Ces propos illustrent ce que la production orale du langage, son émission, puis son articulation, doivent à la respiration, plus précisément à l'expiration, et aux organes de l'ingestion alimentaire, deux fonctions vitales des vertébrés solidement établies depuis plusieurs centaines de millions d'années [1, 2]. Les origines génétiques de l'aptitude au langage dateraient de 600 000 ans [3]. Cette acquisition somme toute récente comparée à l'ancienneté de se nourrir et de respirer, n'a pas émergé du néant. Elle fut précédée, également grâce à la respiration et aux organes oraux, par les cris émis par les mammifères, un groupe zoologique dont nous faisons partie [4-6] (→).

(→) Voir le Forum de G. Couly, *m/s* n° 2, février 2020, page 160

Les cris sont émis par les nouveau-nés et par les adultes. Ils le sont également par les oiseaux [7].

Vignette (Photo © Inserm/Fanny Dégeilh).

¹ *La grande librairie*, 29/4/2020, France 5.



premiers tétrapodes dentés encore muni de branchies, le chaînon manquant avec les poissons dont les descendants sont aujourd'hui les dipneustes¹ australiens et les cœlacanthes² [16, 17]. À partir du Dévonien, les tétrapodes et vertébrés terrestres se sont diversifiés phylétiquement³ (en amphibiens, reptiles, oiseaux, et en mammifères) [2, 10-15]. Chez les mammifères, il y a 150 millions d'années, l'appareil respiratoire pulmonaire, qui assurera les échanges gazeux aériens, s'est construit embryologiquement par évagination endodermique de l'intestin pharyngien, c'est-à-dire de l'appareil digestif, plus ancien de 200 millions d'années [10, 14, 18, 19].

Manger et respirer sont des fonctions indépendantes. Elles ont leurs propres voies anatomiques et neuro-fonctionnelles qui assurent les apports caloriques, la croissance et l'oxygénation [2, 11, 12, 14]. La formation de l'appareil respiratoire à partir de l'intestin antérieur a donc impliqué des innovations neuro-embryologiques et physiologiques, tel le fonctionnement alternatif de la déglutition et de la respiration [20].

Chez l'homme, comme chez les autres mammifères, l'oralité alimentaire et la ventilation se développent durant la période embryo-fœtale [21-25]. Le comportement oral alimentaire débute à 12 semaines de gestation, ce que l'on peut objectiver lors d'une échographie fœtale. Il comporte deux phases successives : une première, d'oralité primaire, qui dépend de la succion et de la déglutition réflexes [21, 24, 25] dont la commande neurologique est assurée par la coordination de six nerfs crâniens du tronc cérébral (V trijumeau, VII facial, IX glosso-pharyngien, X pneumogastrique ou vague, XI spinal bulbaire, XII grand hypoglosse) [20]. Cette phase primaire perdure au-delà de la naissance. Elle sera remplacée, à partir du deuxième semestre, par une seconde phase d'oralité, praxique et autonome, de mastication et de déglutition, dont la commande est localisée dans le cortex frontal moteur prérolandique⁴ [20]. Ces deux modalités d'ingestion nutritive précèdent l'éclosion du langage qui apparaît au cours de la deuxième année après la naissance, et qui utilisera cette même voie anatomique, mais en sens inversé [22].

Les premiers mouvements thoraciques respiratoires *in utero* sont observés par échographie vers la vingtième semaine [25], huit semaines après les premières séquences de succion et déglutition. Ils sont commandés par le complexe pré-Böttinger du tronc cérébral⁵ et sont associés aux contractions rythmiques des muscles vocaux laryngés, ce que l'on peut observer par échographie [25]. Chez les mammifères comme chez les hommes, la genèse des cris après la naissance est univoque : l'air pulmonaire expiré et propulsé par la contraction du diaphragme déclenche les vibrations des replis vocaux du larynx. Le son ainsi généré est émis hors de la cavité orale [15]. Longtemps considérés comme des curiosités zoologiques, les cris sont l'objet de

recherches éthologiques chez de nombreuses espèces et sont considérés comme des protolangages (ou langages primitifs) [26, 27]. Ainsi, les cris et les hurlements des chimpanzés ont-ils été étudiés par les primatologues aux fins de comprendre les comportements et interactions inter-individuels et sociaux assurant la cohésion du groupe [26, 27].

Tous les mammifères crient. Mais ils en sont restés là, sauf une certaine ...espèce humaine ! Les modalités de la genèse des cris et pleurs du nourrisson humain ne sont ainsi pas différentes de celles des autres mammifères. Mais ces cris sont aussi un protolangage qui lui permet de communiquer avec ses parents, son entourage, ou exprimer sa faim ou son inconfort.

Alors que sa praxie alimentaire et sa respiration sont finalisées, l'enfant commence, au cours du troisième semestre, à reproduire ses premiers mots, grâce à son audition. Comme lors de l'émission de ses cris, ces premiers mots sont le produit des vibrations sonores générées par l'air expiratoire qui passe sur les replis vocaux musculaires endo-laryngés thyro- et inter-arythénoïdiens⁶. Avant d'être émis hors de la bouche, les mots sont articulés grâce aux mêmes effecteurs neuro-musculaires et organiques oraux que ceux utilisés pour l'oralité alimentaire, mais en sens inversé : du pharynx aux lèvres. L'oralité alimentaire et l'oralité verbale partagent ainsi la même communauté d'organes et de conduits anatomiques. Seuls leurs sens d'utilisation vont différer. Les activités motrices successives des lèvres, de la langue, du voile, des mâchoires et du pharynx sont différentes selon qu'elles participent, soit à la mastication, suivie de la déglutition, en sens oral, soit à l'articulation phonétique, mais en sens aboral. Le même complexe organique pharyngo-glosso-oral et labial est ainsi utilisé de manière alternative.

Le centre moteur frontal pneumo-laryngo-pharyngo-glosso-buccal du langage de Broca et le gène *FOXP2* [8, 28-32]

Comment les voies neuro-musculaires qui dirigent l'oralité nutritionnelle et la respiration, et qui sont phylétiquement anciennes et actives, furent-elles réutilisées aux fins de la production et de l'émission du langage ? Existe-t-il, en pathologie neurologique humaine, des situations cliniques au cours desquelles l'expression du langage est entravée par des difficultés motrices orofaciales ou dyspraxiques ?

En analysant les génomes de quinze membres d'une même famille britannique d'origine pakistanaise (nommée KE)

¹ Poissons d'eau douce possédant un poumon fonctionnel, en plus des branchies.

² Un poisson dont les nageoires ossifiées sont possiblement les ancêtres des membres.

³ Relatif au phylum.

⁴ Sillon précentral ou prérolandique : il est formé des branches ascendantes et descendantes des sillons frontaux supérieurs et inférieurs et est situé en avant du sillon central. Il délimite en avant le gyrus précentral (circonvolution frontale ascendante).

⁵ Le complexe pré-Böttinger (préBötC) est un groupe d'interneurones dans le groupe respiratoire ventral de la moelle du tronc cérébral.

⁶ L'arythénoïde est une paire de petits cartilages situés à l'arrière du larynx.

qui souffraient, sur trois générations, d'une dyspraxie verbale héréditaire développementale, Fisher *et al* [8, 28] ont objectivé, en 1998, l'importance d'une mutation d'un gène, le gène *FOXP2* (*Forkhead box P2*) localisé sur le chromosome 7, en 7q31, dans cette maladie. Cliniquement, cette dyspraxie se manifeste par des difficultés articulatoires phonétiques dues à des déficits des mouvements de la bouche, des lèvres et de la langue, associés à des carences grammaticales et syntaxiques [8]. Dès l'enfance, cette mutation est corrélée à l'incapacité à contrôler les mouvements moteurs faciaux et buccaux lors de l'émission du langage expressif et réceptif. Elle est associée à l'incoordination de l'ingestion alimentaire orale qui se traduit par des fausses routes respiratoires [31]. Les études par imagerie fonctionnelle cérébrale des patients de la famille KE, ainsi que d'autres sujets atteints de façon similaire, ont révélé une réduction des structures tissulaires neurales impliquées dans la genèse du langage, comme l'aire de Broca, le noyau caudé, le striatum et le cervelet [32]. Depuis sa découverte, le gène *FOXP2* a été associé à l'aptitude de l'homme au langage [30], mais il ne serait pas le seul gène en cause car plusieurs autres gènes ont depuis été impliqués. Néanmoins, depuis 20 ans, *FOXP2* suscite de nombreux travaux de recherche. Des souris transgéniques exprimant le gène humain présentent ainsi une augmentation de la plasticité synaptique, comparées à des souris exprimant la version mutée du gène, retrouvée chez la famille KE, qui, elles, manifestent de réelles difficultés à produire des séquences de mouvements rapides. Pour SE Fisher [30], pour qui la prudence interprétative des expériences s'impose, *FOXP2* servirait à activer et à réguler l'expression de réseaux de très nombreux autres gènes lors de la construction et du fonctionnement du cortex cérébral. Les données recueillies à partir d'expériences réalisées dans des cultures de neurones sont néanmoins compatibles avec l'hypothèse selon laquelle la genèse du langage, qui reposerait sur la forme du gène *FOXP2* retrouvée chez l'homme, est la conséquence d'innovations touchant des régulations génétiques qui seraient apparues chez des ancêtres non verbaux, plutôt que de nouveaux mécanismes. *FOXP2* est désormais reconnu comme étant le gène à l'origine de changements organisationnels de la connectivité du cerveau humain concourant à la genèse et à l'évolution du langage [30]. L'ensemble des données tendent ainsi à montrer que l'émergence de la capacité langagière chez l'homme aurait bien un fondement génétique qui dépendrait du centre praxique du langage de Broca (ou centre moteur pneumo-laryngo-pharyngo-glosso-buccal de la 3^e circonvolution frontale, tel que défini par les neuroanatomistes de l'encéphale) [20]. En neurologie, les lésions de ce centre sont responsables de dysarthries ou d'anarthries (difficultés ou absence d'articulations), voire d'aphasies [20]. Des études de comparaison génomique entre l'homme et les primates (en particulier des chimpanzés communs ou *Pan troglodytes*), cherchant à élucider les mécanismes présidant à cette aptitude unique de l'homme au langage, ont révélé des mutations dans le génome de l'homme qui se traduisent par la substitution dans la séquence de la protéine codée par le gène *FOXP2* de deux acides aminés. Ces mutations sont retrouvées dans toutes les populations humaines. Elles sont absentes chez le singe, l'homme et les primates non humains ayant divergé il y a sept millions d'années. Ces événements génétiques auraient ainsi été un déterminant capital dans la genèse cérébrale du centre moteur du langage humain et de ses connexions, établies par les voies pyramidales et cortico-

nucléaires, avec les structures, anciennes et rodées, des commandes respiratoires et de l'oralité de prédation. Le gène *FOXP2* est ainsi associé à la capacité de parole et du chant chez l'homme. Mais il l'est aussi pour l'émission et l'apprentissage du chant chez des oiseaux chanteurs [33-37], en particulier chez le diamant mandarin⁷ [38] (→).

(→) Voir la Nouvelle de C. Rochefort, *m/s* n° 11, novembre 2008, page 906.

Connexions hémisphériques, voies motrices pyramidales et production du langage

Grâce aux connexions cérébrales intra- et inter-hémisphériques et aux voies motrices pyramidales et cortico-nucléaires, l'aire praxique du langage de Broca a été raccordée aux effecteurs moteurs des muscles de l'oralité alimentaire et de la respiration, mais avec des modalités spécifiques pour la phonation, uniquement en expiration et en sens aboral, c'est-à-dire en sens inverse de la prise alimentaire. François Jacob appela cela « *le bricolage de l'Évolution... cette dernière ne tire pas ses nouveautés du néant. Elle travaille sur ce qui existe déjà, soit qu'elle transforme un système ancien pour lui donner une fonction nouvelle soit qu'elle combine plusieurs systèmes pour en échafauder un autre plus complexe... car une des fonctions les plus remarquables des organismes vivants est de regarder devant eux... de produire de l'avenir* » [40].

Ces connexions ont permis l'organisation et la compatibilité des fonctions orales alimentaires et des fonctions verbales. Il est en effet impossible de mastiquer ou de déglutir et de parler simultanément, et, de même, de respirer et de déglutir dans le même temps. En revanche, l'expiration, lors de la genèse des vibrations des cordes ou replis vocaux, peut aller jusqu'à son terme, avant la reprise inspiratoire. Ceci est indispensable chez les chanteuses et chanteurs chez lesquels le chant résulte d'un mixage de la langue articulée et du son mélodique expiratoire. Alors que la phase expiratoire est recrutée pour émettre les sons, il est impossible de parler en inspirant.

Manger, respirer, crier, puis parler et chanter : une filiation unique de l'Évolution

L'oralité d'ingestion et la respiration ont fondé la communication sonore : crier et chanter chez les oiseaux, crier chez les mammifères, et crier, parler et chanter chez l'homme. Cette succession temporelle de capacité de communiquer retrace l'histoire évolutive de la communication des vertébrés depuis 550 millions d'années. *In fine*, c'est le réseau de connexions

⁷ Le diamant mandarin (*Taeniopygia guttata*) est un petit oiseau qui appartient à la famille des Estrildidés et à l'ordre des Passériformes.



cérébrales qui sélectionne, règle et organise l'action souhaitée. L'émergence du langage chez l'homme n'a impliqué que des acquis neurogénomiques, les effecteurs oraux et respiratoires existaient déjà depuis longtemps !

Conclusions

Plusieurs conditions favorables ont contribué à l'émergence du langage humain lors de ce dernier million d'années. La première, récente, est constituée par les acquis neuro-génomiques du centre praxique pneumo-laryngo-pharyngo-buccal du langage de Broca associés au gène *FOXP2*, identifié en 1998. La seconde est assurée par les connexions et les voies pyramidales motrices cérébrales qui ont relié ce centre aux voies neurologiques anciennes des commandes respiratoires et de l'oralité nutritionnelle. Le langage fut précédé par le cri, cri émis par le nouveau-né et qui utilise, comme chez tous les mammifères, les mêmes voies neurologiques et organes respiratoires et oraux. L'aire praxique de Broca et ses connexions, associées au gène *FOXP2*, semblent être les seules innovations neuro-génomiques de l'avènement du langage. Manger puis respirer, fonctions zoologiquement et embryologiquement liées et anciennes, puis réutilisées par les voies motrices pyramidales provenant du centre du langage de Broca, ont rendu possible l'émergence du langage et du chant chez l'homme. Manger, respirer, crier, puis parler et chanter constituent une filiation exceptionnelle depuis l'origine des vertébrés terrestres. ♦

SUMMARY

To eat, to breath, to cry, to speak, to sing, the zoological language epopee

The language emergence during the last one million years is the success of the use of oral nutritive and breathing functional organs, which existed several hundred million years ago. But two new neurogenomic innovations were also necessary: The genesis of pneumo-laryngo-glossal Broca praxic area, associated to *FOXP2* gene, and the brain connectome. The last one has connected, thanks to its network, the Broca area to these two vital functions, feeding orality and respiration, by using their motor pyramidal and cortico-nuclear ways already constituted. These connections have given the language its efficiency of sonor laryngeal emission and oral articulation. The baby cry precedes from 18 months the language beginning, and is produced by the same motor neurologic connectomic organization that future language. To eat, to breath, and to cry, to speak, to sing constitute a neuro-functional and temporal filiation of Evolution since the first early vertebrates. To eat, then to breath, then to cry have constituted the language founding parentage. ♦

LIENS D'INTÉRÊT

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

RÉFÉRENCES

1. Lecointre G, Le Guyader H. *Classification phylogénétique du vivant*. Paris : Belin, 2001.
2. Pirlot P. *Morphologie évolutive des chordés*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal, 1969.
3. Prochiantz A. *Singe toi-même*. Paris : Odile Jacob, 2019.
4. Boulanger G. *Les cris chez l'enfant*. Paris : Vrin, 1968.
5. Couly G. Manger ou parler. *Med Sci (Paris)* 2020 ; 36 : 160-2.

6. Couly G. *Les oralités humaines. Avaler et crier. Le geste et son sens*. Paris : Doin, 2010.
7. Ackerman J. *The genius of birds*. New York : Penguin Press, 2016.
8. Lai CS, Fisher SE, Hurst JA, et al. A novel forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature* 2001 ; 413 : 519-23.
9. Seung S. *Connectome, how the brain's wiring make us who we are?* Boston : Houghton Mifflin Harcourt Trade, 2012.
10. Carroll RL. *Vertebrate paleontology and evolution*. New York : Freeman and Co, 1996.
11. Grasse PP. *Traité de zoologie. Anatomie systématique. Biologie. Vertébrés. Anatomie comparée. Embryologie topographique*. Tome XII. Paris : Masson, 1954.
12. Grasse PP. *Traité de zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères. Musculature*. Tome XVI, fascicule III. Paris : Masson, 1971.
13. Grasse PP. *Traité de zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères. Téguments, squelette*. Tome XVI, fascicule 1. Paris : Masson, 1967.
14. Grasse PP. *Traité de Zoologie. Anatomie. Systématique. Biologie. Mammifères. Splanchnologie*. Tome XVI, fascicule V-A. Volume 1. Paris : Masson 1973.
15. Grasse PP. *Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères. Les ordres : anatomie, éthologie, systématique*. Tome XVII, fascicule 1. Paris : Masson, 1955.
16. Ahlberg PE, Miller AR. The origin and early diversification of tetrapods. *Nature* 1994 ; 368 : 507.
17. Thomson KS. The origin of tetrapods. *Am J Sci* 1993 ; 293A : 33.
18. Liem KF. Form and function of lungs: the evolution of air breathing mechanisms. *Am Zool* 1988 ; 28 : 739-5.
19. Tuchmann-Duplessis H. *Embryologie humaine*. Paris : Masson, 1968.
20. Delmas A. Voies et centres nerveux. In : *Introduction à la neurologie* (6^e ed). Paris : Masson, 1997.
21. Couly G (en collaboration avec Levaillant JM, Bault JP, Benoit B, Kverneland B, Gitz L). *L'oralité du fœtus*. Montpellier : Sauramps, 2015.
22. Couly G. L'oralité du fœtus, fondement du langage. *Rééducation Orthophonique (Paris)* 2017 ; 271 : 13-27.
23. Belle M, Godefroy D, Couly G, et al. A tridimensional visualisation and analysis of early human development. *Cell* 2017 ; 169 : 161-73.
24. Levaillant JM, Bault JP, Couly G. *La face fœtale normale et pathologique*. Montpellier : Sauramps Médical, 2013.
25. Bault JP, Levaillant JM, Couly G. *Écho-anatomie normale du fœtus*. Montpellier : Sauramps Médical, 2021.
26. Goodall J. *Ma vie avec les chimpanzés*. Paris : L'École des Loisirs, 2012.
27. Krief S. *Chimpanzés, mes frères de la forêt*. Paris : Actes sud, 2019.
28. Fisher SE, Vargha-Khadem F, Watkins KE, et al. *Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder*. *Nat Genet* 1998 ; 16 : 67-72.
29. Enard W, Przeworski M, Fisher S, et al. Molecular evolution of *FOXP2*, a gene involved in speech and language. *Nature* 2002 ; 418 : 869-72.
30. Fisher S. Human genetics: the evolving story of *FoxP2*. *Curr Biol* 2019 ; 29 : R50-70.
31. Zimmerman E, Maron J. *Foxp2 gene deletion and infant feeding difficulties*. *Cold Spring Harb Mol Case Stud* 2015 ; 20 : a000547.
32. Belton E, Salmond CH, Watkins F, et al. Bilateral brain abnormalities associated with dominantly inherited orofacial dyspraxia. *Hum Brain Mapp* 2003 ; 18 : 194-200.
33. Petkov CI, Jarvis ED. Birds, primates and spoken language origins behavioral phenotype and neurobiological substrates. *Front Evol Neurosci* 2012 ; 4 : 12.
34. Pfenning AR, Hara E, Whitney O, et al. Convergent transcriptional specialisations in the brain of humans and song-learning birds. *Science* 2014 ; 346 : 1256846.
35. Bolhuis JJ, Okanoya K, Scharff C. Twitter evolution: converging mechanism in bird song and human speech. *Nat Rev Neurosci* 2010 ; 11 : 747-59.
36. Jarvis ED. Evolution of brain pathways for vocal learning in birds and human. In : Bolhuis JJ, Everaert M (eds). *Birds song, speech and language*. Cambridge MA : MIT Press, 2013 : 63-107.
37. Jarvis ED. For whom the bird sings: context-dependant gene expression. *Neuron* 1998 ; 21 : 775-88.
38. Rochefort C. *FOXP2*, un gène qui fait parler l'homme et chanter les oiseaux. *Med Sci (Paris)* 2008 ; 24 : 906-7.
39. Le connectome. *Le Monde : les défis de la science*. Barcelone : RBA Coleccionables, 2018.
40. Jacob F. *La souris, la mouche et l'homme*. Paris : Odile Jacob, 1997.

TIRÉS À PART

G. Couly