



HAL
open science

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

Gérard Couly

► **To cite this version:**

Gérard Couly. Manger, respirer, crier, parler, chanter, l'épopée zoologique du langage. Médecine/Sciences, 2021, 37 (11), pp.1042-1045. 10.1051/medsci/2021029 . hal-03474674

HAL Id: hal-03474674

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03474674v1>

Submitted on 10 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

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

Gérard COULY

- 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 COLLEGE de FRANCE
- Institut de la vision, Inserm UMRS 968, 17 rue Moreau, 75012 Paris, France. Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 06.

gerard.couly@gmail.com

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

Résumé

L'émergence du langage humain lors du dernier million d'années, doit son succès à des innovations neurogénomiques et des circonstances favorables de l'Evolution : primo la genèse du centre moteur pneumo-laryngo-pharyngo-bucco-lingual de Broca localisé dans le pied de la

3^{ème} circonvolution frontale du cerveau, associée au gène Foxp2, découvert en 1998, secundo l'utilisation pour la production du langage de la neuro-fonctionnalité des organes de la respiration et de l'oralité nutritionnelle, déjà efficiente depuis des millions d'années et tertio les réseaux de connections de l'encéphale et ses voies motrices pyramidales et cortico-nucléaires. Celles-ci en raccordant le centre frontal de Broca aux effecteurs neuromusculaires de l'oralité nutritionnelle et de la ventilation, ont assuré au langage d'une part sa production sonore, grâce au flux expiratoire laryngé et d'autre part son articulation grâce aux organes pharyngo-linguo-buccaux de l'oralité, mais dans le sens aboral. Faute de ces connexions, le langage n'aurait eu peu chance de se développer car les acquis neurogénomiques centraux récents seraient restés sans effet. Ces faits illustrent le concept visionnaire de « bricolage de l'Evolution » de FRANCOIS JACOB pour qui « l'Evolution ne tire pas ses nouveautés du néant. Elle travaille sur ce qui existe déjà ... une des fonctions les plus remarquables des organismes vivants est de produire de l'avenir » Ainsi le cri des mammifères généré par le flux aérien de l'expiration et les structures orales est un protolangage, précurseur d'avenir. Les cris du nourrisson, produits selon les mêmes modalités, anticipent l'avènement du langage. Manger, respirer, et crier ont constitué une filiation d'évènements zoologiques de

l'Evolution depuis les premiers vertébrés terrestres, qui furent propices au succès futur du langage quand au cours de ce dernier million d'années, des innovations neurogénomiques de l'encéphale humain ont eu lieu. Manger puis respirer et crier ont fondé, longtemps après leurs instaurations, le futur langage humain.

Mots clefs : oralité alimentaire respiration, alimentation , cri, langage , chant, gène foxp2, connectome cérébral, aire de Broca, oiseau.

TITRE en ANGLAIS : To eat, to breath, to cry, to speak, to sing, the zoological langage epopee.

Summary

The language emergence during the last million years of human history is the success of oral nutritive and breathing organs fonctionnality use , which existed several hundred millions years ago . But two new neurogenomic innovations were also necessary : it is the genesis of Broca's langage brain area, associated to FoxP2 gene , identified 20 years ago and the brain connections. This last one has connected thanks to its network the Broca area to these two vital fonctions, that is to say feeding orality and respiration by taking and using their motor

pyramidal and cortico-nuclear ways already constituted. These connexions have permitted to the language the efficiency of sonor emission by expiratory tract and language articulation by vélo-pharyngeal, glossal and oral organs. The connexity thanks to contiguity on the brain frontal cortex of mastication and swallowing motor areas and pneumo-laryngo-pharyngo-glossal center Broca's praxic area of language has facilitated this connection by the brain connectome. Without this old feeding and breathing neurophysiologic organisation, the language would not have any chance to appear. These observations illustrated the Jacob's « Evolution odd-job » concept : « the Evolution works on what already exists, either it transforms an old system to give it a new fonction , or it combines several systems to build another more complex ». The cry, proto-language of mammals is also produced by breathing and oral feeding structures for sonor communication. The baby's cry precede of 18 months the language beginning, which is the precursor from .The cry also uses the same motor and neurologic connectomic organisation that futur language in going to use. Human language and song aptitude are associated with Foxp2 genetic mutation. Language and song aren't human exceptions because they were developed in birds with the same modalities thanks to the same genetic acquisition and with the same oral and respiratory structures. To eat, to breath, and to cry, to speak , to sing constitue a neuro-

fonctionnal and temporal filiation of Evolution since the first early vertebrates. To eat and to breath have created and perpetuated the language.

Kw :mammals, tétrapodes, eating , breathing, crying, speaking , singing, brain connectome , pyramidal tract, Foxp2 gene, Broca area.

Hypothèses

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... » (« la grande librairie » du 29/4/2020 France 5). Ces propos illustrent ce que la production orale du langage, son émission puis son articulation, doit à la respiration, plus précisément à l'expiration et aux organes de l'ingestion alimentaire, ces 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 récente, comparée à l'ancienneté de se nourrir et de respirer, n'a pas émergé du néant mais fut précédée grâce également à la respiration et aux organes oraux par les cris émis par les mammifères, groupe zoologique dont nous faisons partie {4,5,6}. Les cris sont émis aussi par les nouveaux-nés et par les adultes . Ils le sont également par les oiseaux {7}. 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, associé à la capacité langagière et de chanter chez l'homme ? Comment le réseau de connexions et voies pyramidales ont-elles raccordé l'aire motrice frontale du langage de BROCA aux organes oraux et respiratoires? {9}

Manger, puis respirer, puis crier, filiation décisive de l'Evolution pour la genèse future du langage {10,11,12,13,14,15 }

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 les branchies. 200 millions d'années plus tard, au Dévonien, des vertébrés aquatiques ont colonisé la terre ferme.{16,17 } Les branchies ont involué, remplacés graduellement par le nouvel appareil respiratoire pulmonaire. {18} La transition branchies - poumons a nécessité plusieurs dizaines de millions d'années, attestée par des découvertes paléontologiques dont celles d'*acanthostéga* en 1987, tétrapode denté encore muni de branchies, le chaînon manquant, dont les descendants sont aujourd'hui les dipneustes australiens et les cœlacanthes. {16,17 } A partir du Dévonien les tétrapodes et vertébrés terrestres se sont diversifiés phylétiquement (amphibiens, reptiles, oiseaux, 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 ayant leurs propres voies anatomiques et neuro-fonctionnelles, assurant 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 impliqué des innovations neuro-embryologiques et physiologiques tel le fonctionnement alternatif de la déglutition et de la respiration. {20}

Chez l'humain l'oralité alimentaire et la ventilation se développent comme chez les mammifères durant la période embryo-fœtale. {21,22,23,24,25}

Le comportement oral alimentaire, débute à 12 semaines de gestation, objectivée en échographie fœtale. Il comporte deux phases successives : une première d'oralité primaire dépendante de succion et déglutition reflexe, {21,24,25} dont la commande neurologique dépend de la coordination de 6 nerfs crâniens du tronc cérébral {20}. Cette phase primaire perdure au delà de la naissance, remplacée à partir du 2^{ème} semestre par une seconde d'oralité praxique et autonome de mastication et déglutition dont la commande est localisée dans le cortex frontal moteur pré-rolandique {20}. Ces deux modalités d'ingestion

nutritive précèdent l'écllosion du langage de la 2^{ème} année qui utilisera cette même voie anatomique mais en sens inversé {22}.

Les premiers mouvements thoraciques respiratoires in utero sont observés en échographie vers la 20^{ème} semaines {25}, 8 semaines après les premières séquences de succion et déglutition. Ils sont commandés par le complexe pré-Botzinger du tronc cérébral et associés aux contractions rythmiques des muscles vocaux laryngés, repérés en échographie {25}. Chez les mammifères, comme chez les humains, après la naissance, la genèse des cris est univoque : l'air expiré pulmonaire, propulsé par la contraction du diaphragme déclenche les vibrations des replis vocaux du larynx. Le son généré est émis hors de la cavité orale {15}. Longtemps considérés tels des curiosités zoologiques, les cris sont l'objet de recherches éthologiques chez de nombreuses espèces, et sont considérés tels des protolangages {26,27}. Ainsi les cris et hurlements des chimpanzés ont –ils été étudiés par les primatogues aux fins de comprendre les comportements et interactions inter-individuels et sociaux assurant la cohésion du groupe (26,27)

Tous les mammifères crient et en sont rester là, sauf un certain humain ! Les modalités de la genèse des cris et pleurs du nourrisson humain ne sont pas différentes de celles des mammifères. Ces cris

sont aussi son proto-langage lui permettant de communiquer avec ses parents , l' entourage ou exprimer sa faim ou son inconfort.

Alors que sa praxie alimentaire et sa respiration sont au point, l'enfant commence au cours du 3ème semestre à reproduire ses premiers mots grâce à son audition . Comme lors de l'émission de ses cris , ils sont le produit des vibrations sonores générées par l'air expiratoire passant sur les replis vocaux musculaires endo-laryngés thyro et inter arythénoïdiens. 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 la même communauté d'organes et de conduits anatomiques. Seuls leurs sens d'utilisation vont différer. Ainsi, 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 déglutition en sens oral ou 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 (forkhead-box P2) {8,28-32}

Comment les voies neuro-musculaires dirigeant l'oralité nutritionnelle et la respiration 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), qui souffraient d'une dyspraxie verbale héréditaire développementale sur 3 générations, Fisher et al {8,28} ont objectivé en 1998 une mutation du gène Forkhead Box P2 (FoxP2), localisée sur le chromosome 7, en 7q31. Cliniquement cette dyspraxie se manifeste par des difficultés articulatoires phonétiques par déficit 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, associée à l'incoordination de l'ingestion alimentaire orale avec fausses routes respiratoires {31}. Les études par imagerie fonctionnelle cérébrale des patients de la famille KE ainsi que d'autres atteints de façon similaire, ont objectivé une réduction de 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 est considéré comme associé à l'aptitude humaine au langage {30} mais FoxP2 ne serait pas le seul car plusieurs autres gènes ont depuis été mis au jour. Depuis 20 ans ce gène suscite de nombreux travaux de recherches. Les souris transgéniques porteuses du gène foxp2 humain présentent une augmentation de la plasticité synaptique comparées à celles porteuses de la version familiale KE du gène qui elles, manifestent de réelles difficultés de séquences de mouvements rapides. Pour FISHER {30}, pour qui la prudence interprétative des expériences s'impose, Foxp2 serviraient à activer et réguler l'expression de réseaux de très nombreux autres gènes lors de la construction et du fonctionnement du cortex cérébral. Ainsi les données recueillies lors des cultures neuronales sont compatibles avec l'hypothèse selon laquelle la forme humaine de Foxp2 dans la genèse du langage fut la conséquence d'innovations des régulations génétiques chez les ancêtres non verbaux plutôt que de l'apparition de nouveaux mécanismes.

FoxP2 est encore reconnu comme responsable des changements organisationnels dans la connectivité du cerveau humain et ainsi la genèse et l'évolution du langage {30}. L'ensemble de ces données tend à démontrer que l'émergence de la capacité langagière humaine aurait bien un fondement génétique dépendant du centre praxique du langage de BROCA ou centre moteur pneumo-laryngo-pharyngo-glosso-buccal

de la 3^{ème} circonvolution frontale des neuroanatomistes de l'encéphale ({20}. En neurologie humaine les atteintes lésionnelles acquises de ce centre sont cliniquement responsables de dysarthries, ou d'anarthries (difficultés ou absence d'articulations) voire d'aphasies {20}. Les études comparatives génomiques récentes entre humains et primates (pan troglodytes) cherchant à élucider cette aptitude unique humaine, ont objectivé des mutations du génome humain constituées par le remplacement de 2 acides aminés dans la séquence codée par le gène FoxP2 et présentes dans toutes les populations humaines alors que les humains et ces primates ont divergé il y a 7 millions d'années . Ces acquis neurogénomiques 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. Si le gène FoxP2 (forkhead –box P2), est associé à la capacité de parole et du chant chez l'humain il l'est aussi pour l'émission et l'apprentissage du chant chez des oiseaux chanteurs {33,34,35,36,37}, et en particulier chez le diamant mandarin {38} .

Connexions hémisphériques, voies motrices pyramidales et production du langage.

Grâce aux connexions intra et inter hémisphériques cérébrales et aux voies motrices pyramidales et cortico-nucléaires, l'aire praxique du langage de Broca fut 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 {40} appelle cela « le bricolage de l'Evolutioncette 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 »

Ces connexions ont permis l'organisation et la compatibilité des fonctions orales alimentaires et verbales puisqu'il est impossible de mastiquer ou de déglutir et de parler simultanément, et de respirer et de déglutir simultanément. Par contre 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 qui le chant est le 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 constituent une filiation unique de l'Evolution.

L'oralité d'ingestion et la respiration ont fondé la communication sonore : crier, chanter chez les oiseaux, crier chez les mammifères et crier, parler et chanter chez l'humain . Cette succession temporelle retrace l'histoire évolutive de la communication des vertébrés depuis 550 millions d'années. In fine c'est le réseau de connexions cérébrales qui sélectionne, règle et organise, l' action souhaitée. L'émergence humaine du langage 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 émis par le nouveau-né, cri qui utilise comme chez tous les mammifères les mêmes voies neurologiques et organes respiratoires et oraux que celui-là. 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 possibles l'émergence de celui-ci et du chant chez l'humain. Manger, respirer, crier, puis parler et chanter constituent une filiation exceptionnelle depuis l'origine des vertébrés terrestres.

REFERENCES

1. LECOINTRE G. LE GUYADER H. *Classification phylogénétique du vivant*. Paris : Belin 2001.
2. PIRLOT P. *Morphologie évolutive des chordés*. Les presses de l'université de Montréal 1969.
3. PROCHIANTZ A. *Singe toi-même*. Paris : Ed Odile Jacob 2019.
4. BOULANGER G. *Les cris chez l'enfant*. Paris : Vrin 1968
5. COULY G. *Manger ou parler*. médecine/science 2020. 36 :160-2

6. COULY G. *Les oralités humaines. Avaler et crier. Le geste et son sens.* Paris : Doin. Wolters Kluwer 2010.
7. ACKERMAN J. *The genius of birds.* Penguin Books Penguin Random House LLC 2016.
8. LAI CS, FISHER SE, HURST JA, VARGHA-KHADEMF, MONACO AP. *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. CARROL RL. *Vertebrate paleontology and evolution.* New York: Freeman and Co. 1996.
11. GRASSE P. P. *Traité de Zoologie. Anatomie Systématique. Biologie. Vertébrés . Anatomie comparée. Embryologie topographique.* Tome XII .Paris : Masson 1954.
12. GRASSE P. P. *Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères .Musculature.* Tome XVI, fascicule III. Paris : Masson 1971.
13. GRASSE P.P *Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères . téguments , squelette.* Tome XVI fascicule 1 Paris : Masson 1967
14. GRASSE P.P *Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères .Splanchnologie.* Tome XVI Fascicule V-A Volume 1 ; Paris : Masson 1973
15. GRASSE P.P *Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Mammifères. Les ordres : anatomie, éthologie, systématique.* Tome XVII Fascicule 1. Paris :Masson 1955
16. AHLGERG P.E., MILLER A.R. *The origin and early diversification of tetrapods.* Nature, 368, 507,1994

17. THOMSON K.S. *The origin of tetrapods*. American journal of science, 293A,33, 1993
18. LIEM KF. *Form and function of lungs: the evolution of air breathing mechanisms*. Amer zool 1988; 28:739-5
19. TUCHMANN-DUPLESSIS H. *Embryologie humaine*. Paris : Masson 1968
20. DELMAS A. *Voies et centres nerveux. Introduction à la neurologie 6ème ed*. Paris : Masson. 1997
21. COULY G. en collaboration avec LEVAILLANT J.M. BAULT J.P. 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, FOUQUER S, GIACOBINI P, CHEDOTAL *A tridimensional visualisation and analysis of early human development*. Cell, 2017, mars 23 ; 169(1) 161-173
24. LEVAILLANT JM, BAULT JP, COULY G. *La face fœtale normale et pathologique*. Sauramps Médical. Montpellier 2013.
25. BAULT JP, LEVAILLANT JM, COULY G, *Echo-anatomie normale du fœtus*. Sauramps Médical. Montpellier 2021.
26. GOODALL J. *Ma vie avec les chimpanzés* Paris : L'école des loisirs 2012
27. KRIEFF S. *Chimpanzés, mes frères de la forêt*. Actes sud Paris 2019
28. FISHER SE, VARGHA-KHADEM F, WATKINS KE, MONACO AP, PEMBREY ME. *Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder*, *Nature Genetics*, 1998 ,vol. 16, p. 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*. Current Biology, 2019 ; 29 : R50-R70
- 31**[10] Zimmerman E, Maron J . *Foxp2 gene deletion and infant feeding difficulties*. Cold Spring Harb Mol case stud. 2015 ; 20/6 Jan, 2(1) :a000547
- 32** Belton E, Salmond CH, Watkins F, Vargha-Khadem F, Gadian D G. *Bilateral brain abnormalities associated with dominantly inherited orofacial dyspraxia*. Hum Brain Mapp, vol18, 2003 :194-200.
- 33.** PERKOV CI *et al*. *Birds, primates and spoken language origins behavioral phenotype and neurobiological substrates* Frons.Evol.Neurosc. 4 2012 :12
- 34.** PFENNING A, *et al*, *Convergent transcriptional specialisations in the brain of humans and song-learning birds*. Science, 2014, 346, n°6215 :13333-37
- 35.** BOLHUIS JJ. *et al*. *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 birds song, speech and language*.J.J Bolhuis, M.Everaert (Ed) 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 :906-907
- 39.** LE CONNECTOME. *Les défis de la science* RBA Coleccionables. SAU.2018
- 40.** JACOB F. *La souris, la mouche et l'homme*. Paris, Ed Odile Jacob 1997

>>>>><<<<<<<<<<<

