

**Cours 2017-2018:**

**Origines du langage et singularité de l'espèce humaine**

Stanislas Dehaene  
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale



## Quelles facultés cognitives sont « singulières » à l'espèce humaine ?

Une multitude de « singularités » cognitives ont été proposées, qui nous distingueraient des autres animaux:

- Usage de l'outil ?
- Conscience de soi?
- Théorie de l'esprit
- Education
- Créativité musicale, mathématique, ou scientifique
- Etc...

Chang, Poo et al., PNAS 2017



Bird and Emery, 2009  
Jelbert et al., 2014

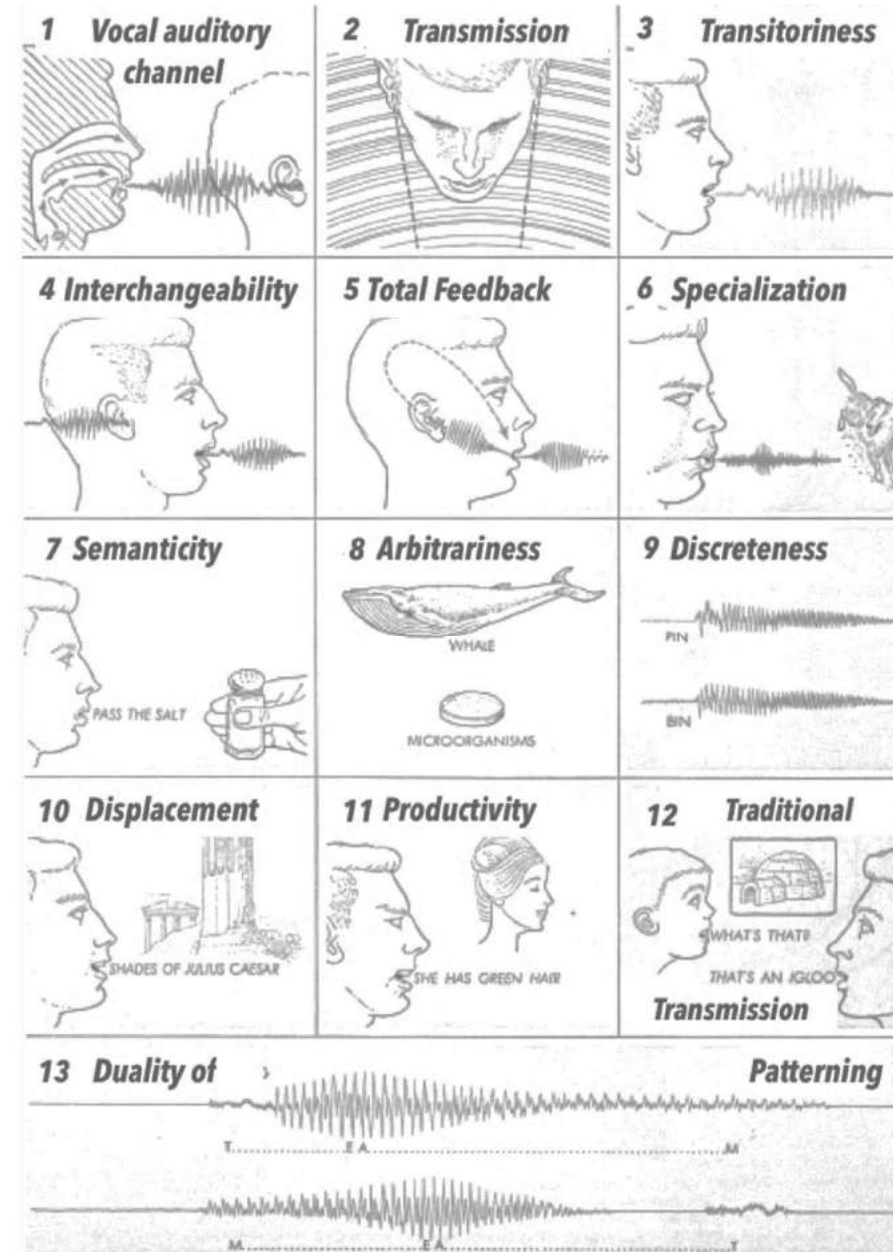
Dans le cours de cette année, nous nous concentrerons sur une seule d'entre elles: la **faculté de langage**, la capacité d'exprimer ses pensées de façon symbolique et de les partager avec d'autres.

# La faculté de langage considérée comme un objet biologique ou éthologique

Hockett (1960) The Origin of Speech, Scientific American, 1960, 203, 88–111.

Le linguiste américain Charles Hockett propose une liste de 13 caractéristiques de la communication humaine, dont les dernières seraient uniques à notre espèce:

1. Passage par le canal auditif
2. Transmission isotrope du son (*broadcasting*)
3. Caractère transitoire (3 propriétés vraies de toute communication sonore)
4. Interchangeabilité (tout ce qui est compris peut aussi être produit)
5. Feedback total (le locuteur entend également ce qu'il émet)
6. Spécialisation pour la communication (le signal n'est pas juste l'effet secondaire d'un autre comportement)
7. Sémanticit : il existe une relation fixe et stable entre un signal et son sens (signifiant et signifié; exemple: danse des abeilles, cri de la marmotte...)
8. Caractère arbitraire: relation purement conventionnelle entre signal et sens (comparer danse des abeilles [iconicité] et cris des vervets)
9. Caractère discret: petit nombre d'unités discrètes (ex. phonèmes) avec passage abrupt d'une catégorie à l'autre
10. Déplacement: nous pouvons parler d' v nements distants dans le temps ou l'espace
11. Productivité: Composition d'un nombre infini de messages nouveaux par combinaison d'un nombre fini d'éléments
12. Transmission culturelle
13. Double articulation (A. Martinet): phonèmes → morphèmes → mots et phrases



## **Nous retiendrons deux caractéristiques essentielles :**

### **1. Système de liens symboliques, arbitraires, bidirectionnels, entre signifiants et signifiés**

- **Cours d'aujourd'hui: La production des vocalisations chez l'homme et chez les autres primates**
- **Cours 2 (15 janvier): La communication animale spontanée**
- **Cours 3 (22 Janvier): L'apprentissage de symboles chez l'animal**

### **2. Système combinatoire permettant de produire une infinité de phrases capables d'évoquer une infinité de sens**

- **Cours 4 (29 Janvier): L'apprentissage de grammaires artificielles: Etudes comportementales**
- **Cours 5 (5 Février): L'imagerie cérébrale de l'apprentissage de grammaires artificielles**
- **Cours 6 (12 Février): Codage cérébral des séquences auditives : Le paradigme local-global**

# La faculté de langage: sa nature, qui la possède, et comment a-t-elle évolué?

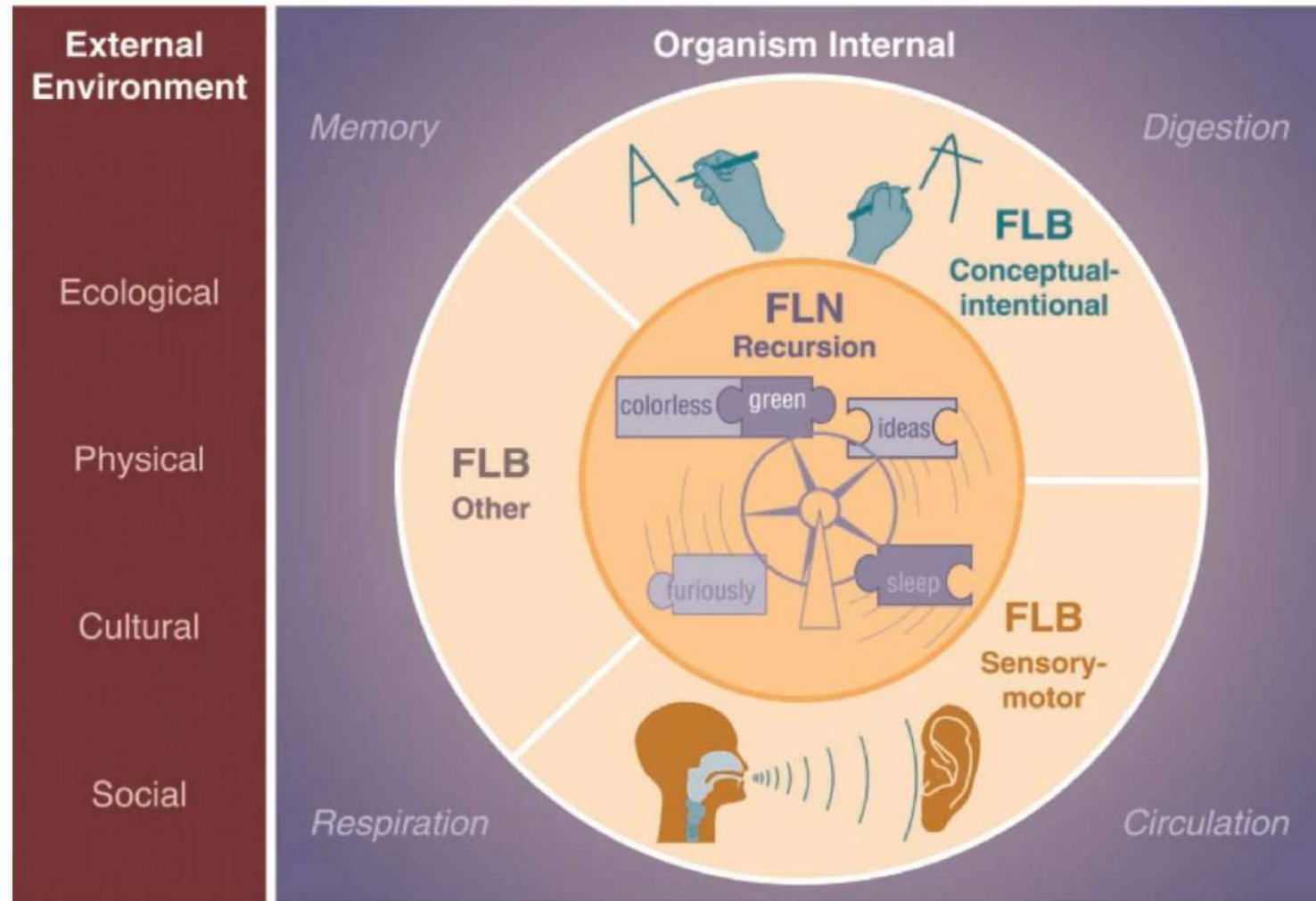
Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298(5598), 1569–79. <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>

Quelles sont les éléments nécessaires et suffisants qui font que tous les êtres humains possèdent la faculté de langage?

Nous pouvons évacuer un certain nombre de facteurs non-spécifiques, externes (environnement écologique, culturel et social) ou internes (mémoire, digestion, etc...)

« La **faculté de langage au sens large** inclut un système sensori-moteur, un système conceptuel-intentionnel, et les mécanismes computationnels de récursion, qui introduisent la capacité d'engendrer une infinité d'expressions à partir d'un ensemble fini.

Nous supposons que la **faculté de langage au sens étroit du terme** se réduit à la récursion, et qu'elle est la seule composante de la faculté de langage qui soit propre à l'espèce humaine ».



## La faculté de langage: Approches comparatives

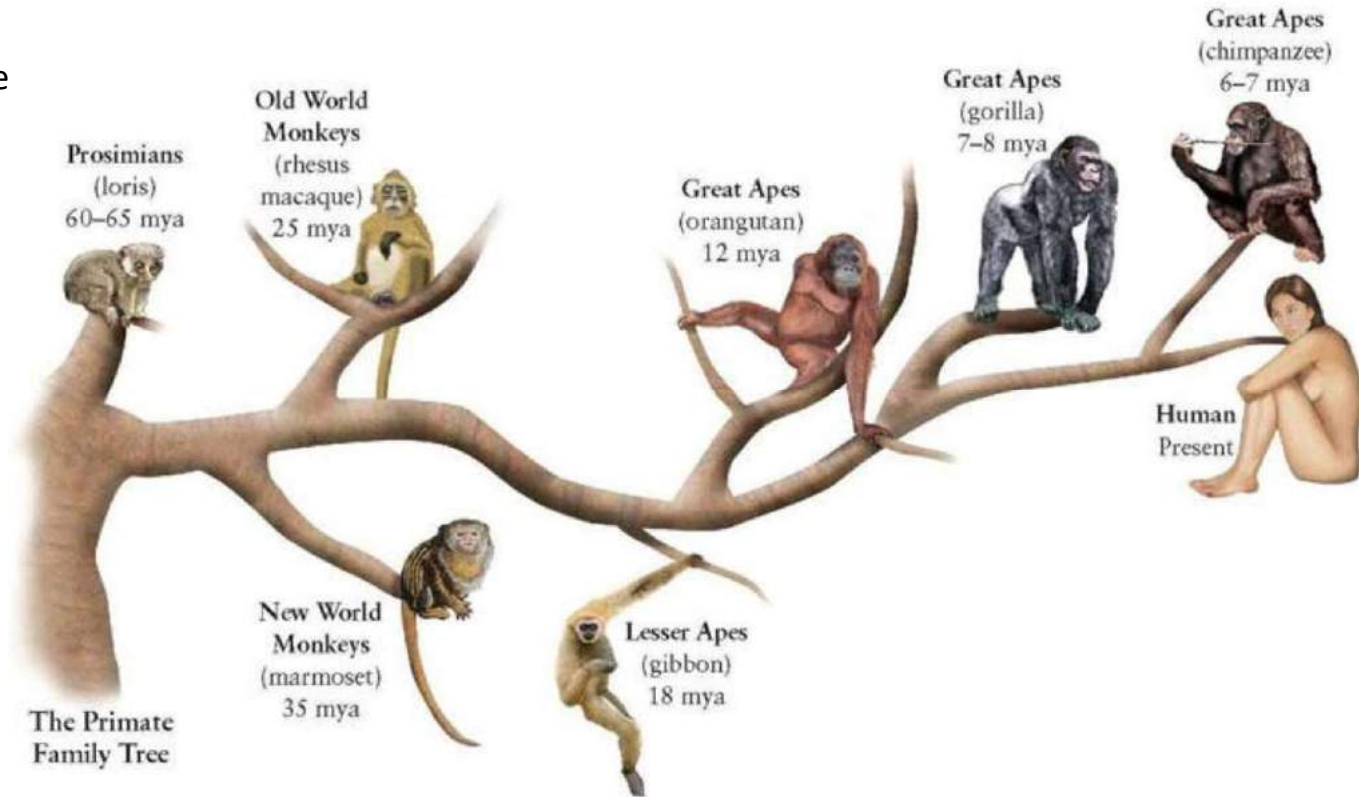
Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298(5598), 1569–79. <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>

**L'approche comparative** doit permettre de définir quels aspects sont spécifiques à l'espèce humaine, et quels aspects sont partagés. En principe, une étude systématique, multi-espèces, est nécessaire avant de conclure à la singularité de l'espèce humaine.

« Un exemple classique est la perception catégorielle des phonèmes, qui lorsqu'elle a été découverte, semblait si finement adaptée aux détails de la parole humaine qu'elle devait constituer une adaptation spécifiquement humaine.

Il a fallu quelque temps avant qu'on découvre les mêmes discontinuités perceptives chez le chinchilla et le singe macaque, et même chez certains oiseaux – ce qui a conduit à la conclusion opposée: les fondements de la perception catégorielle sont une caractéristique primitive des vertébrés, qui a évolué pour le traitement général de l'audition, et non pas pour le traitement spécifique de la parole. »

Dans ce cours, nous verrons également que l'anatomie du larynx n'est plus considérée comme une adaptation susceptible d'expliquer la singularité de l'espèce humaine dans le domaine linguistique.



# La faculté de langage: Homologies et analogies

Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298(5598), 1569–79. <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>

Dans la comparaison inter-espèce, les « fausses » analogies peuvent être aussi informatives que les « vraies » homologies:

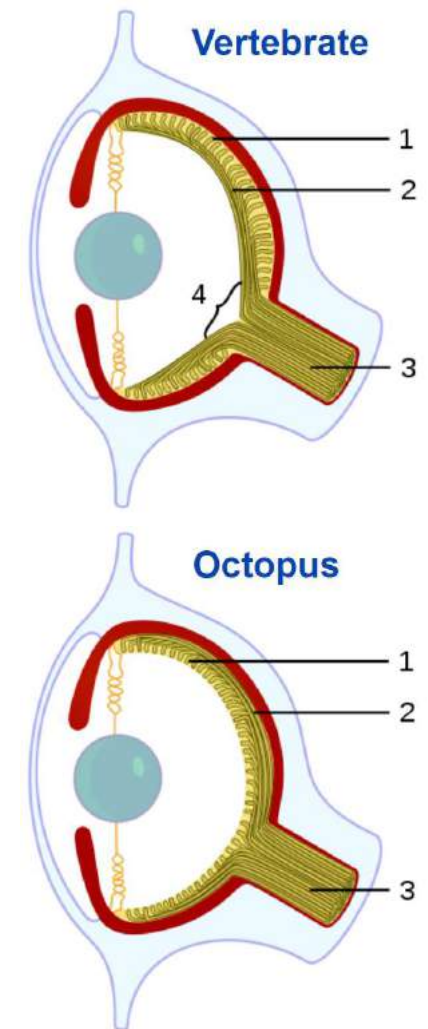
« L'évolution convergente de caractères similaires dans deux clades indépendantes, qu'on appelle 'analogies' ou 'homoplasies', peut être tout aussi révélatrice. »

« La remarquable similarité (sans homologie) de la structure de l'œil chez l'homme et chez la pieuvre révèle les contraintes sévères qu'imposent les lois de l'optique et du développement sur tout organe capable de focaliser une image sur une feuille de récepteurs.

Les analogies détaillées entre certaines parties de l'œil des vertébrés et des céphalopodes mettent en évidence que chacun de ces composants est une adaptation à la formation d'image, façonnée par la sélection naturelle.

De plus, la découverte que des cascades génétiques remarquablement conservées soutiennent le développement de telles structures analogues apporte des éclairages importants sur la manière dont les mécanismes développementaux peuvent contraindre l'évolution. Ainsi, même si elles peuvent sembler trompeuses pour les taxonomistes, les analogies fournissent des données cruciales sur l'adaptation sous les contraintes de la physique et du développement. »

D'où l'intérêt de comparer, par exemple, le langage humain avec le chant des oiseaux. Nous verrons qu'ils présentent de nombreuses analogies et même une évolution génétique convergente.



Hauser, Chomsky et Fitch soulèvent également deux autres questions:

- Le langage a-t'il évolué de façon graduelle ou discrète (« saltatoire »)?
- Le langage est-il une adaptation à la communication, ou bien à un autre problème computationnel (*exaptation*)?

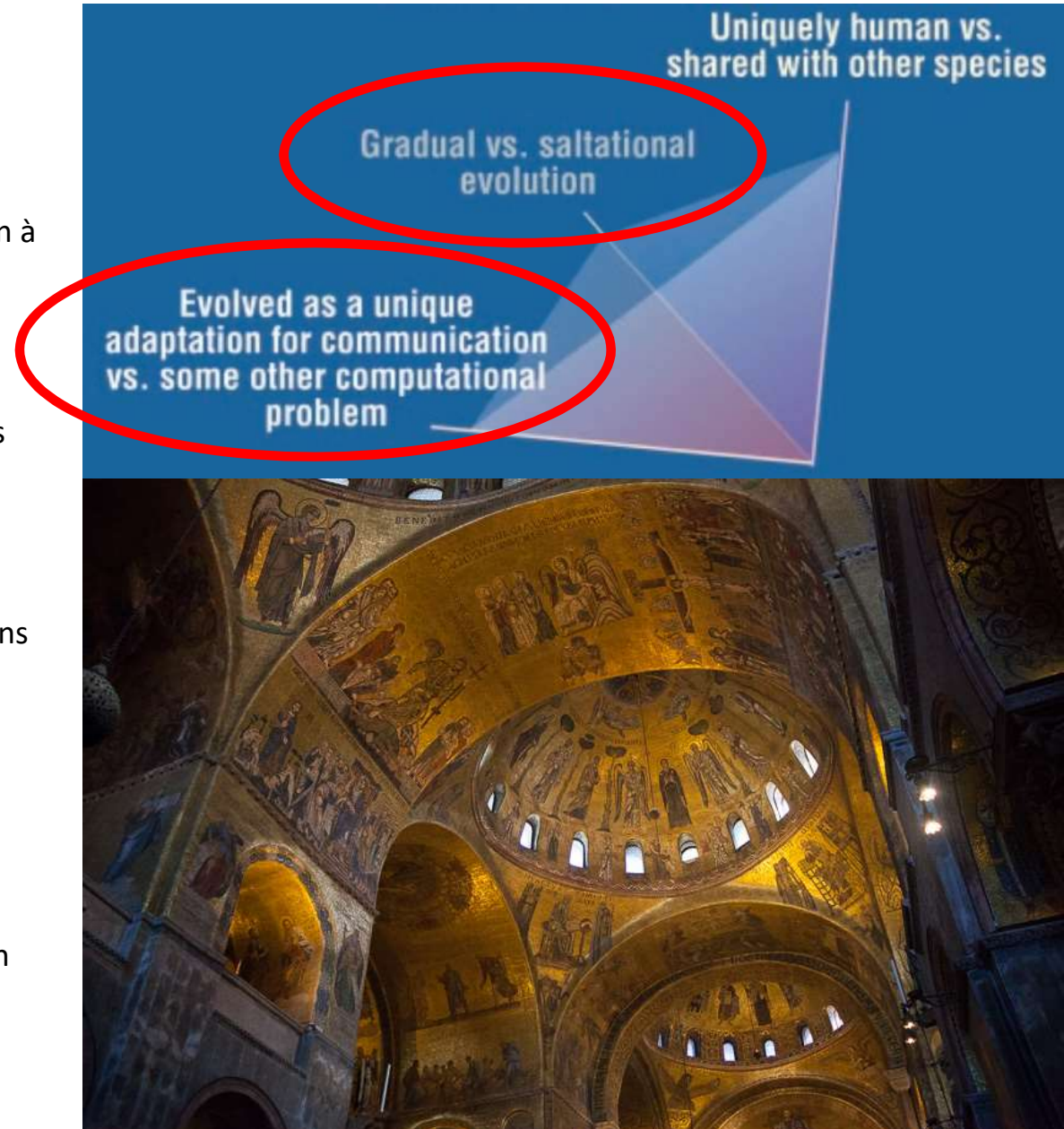
La faculté de langage au sens large (FLB) possède une longue histoire évolutive, qui précède de beaucoup l'émergence du langage humain. En effet, les primates, et en fait l'ensemble des vertébrés, sont loin d'être dépourvus de compétences

- sur le plan sensori-moteur
- sur le plan conceptuel

Par contre, les calculs spécifiques de la faculté de langage au sens étroit du terme (FLN) semblent sévèrement limités: selon l'hypothèse du minimalisme, ils se bornent à une opération *merge* qui engendre une infinité discrète de structures arborescentes enchâssées.

Chomsky considère hautement plausible que la FLN

- soit apparue soudainement au cours de l'évolution
- ne soit pas une adaptation, mais un écoinçon (*spandrel*) – « un sous-produit de contraintes préexistantes plutôt que le résultat final d'une trajectoire de sélection naturelle. »





## Une grande variété d'approches empiriques possibles de l'évolution du langage

### Système sensori-moteur:

- Imitation vocale
- Rôle des neurones miroirs
- Discrimination des sons
- Anatomie et biomécanique du tract vocal

### Système conceptuel/intentionnel:

- Théorie de l'esprit
- Acquisition de concepts
- Signalisation vocale
- Contrôle volontaire sur la production vocale

### Faculté de langage au sens étroit:

- Contraintes sur l'apprentissage des règles
- Grammaires artificielles
- Modèles de théorie des jeux pour l'émergence de la communication
- Représentation des nombres
- Perception musicale

Empirical problem	Examples	References
<i>FLB—sensory-motor system</i>		
Vocal imitation and invention	Tutoring studies of songbirds, analyses of vocal dialects in whales, spontaneous imitation of artificially created sounds in dolphins	(11, 12, 24, 65)
Neurophysiology of action-perception systems	Studies assessing whether mirror neurons, which provide a core substrate for the action-perception system, may subserve gestural and (possibly) vocal imitation	(67, 68, 71)
Discriminating the sound patterns of language	Operant conditioning studies of the prototype magnet effect in macaques and starlings	(52, 120)
Constraints imposed by vocal tract anatomy	Studies of vocal tract length and formant dispersion in birds and primates	(54–61)
Biomechanics of sound production	Studies of primate vocal production, including the role of mandibular oscillations	(121, 122)
Modalities of language production and perception	Cross-modal perception and sign language in humans versus unimodal communication in animals	(3, 25, 123)
<i>FLB—conceptual-intentional system</i>		
Theory of mind, attribution of mental states	Studies of the seeing/knowing distinction in chimpanzees	(84, 86–89)
Capacity to acquire nonlinguistic conceptual representations	Studies of rhesus monkeys and the object/kind concept	(10, 76, 77, 124)
Referential vocal signals	Studies of primate vocalizations used to designate predators, food, and social relationships	(3, 78, 90, 91, 93, 94, 97)
Imitation as a rational, intentional system	Comparative studies of chimpanzees and human infants suggesting that only the latter read intentionality into action, and thus extract unobserved rational intent	(125–127)
Voluntary control over signal production as evidence of intentional communication	Comparative studies that explore the relationship between signal production and the composition of a social audience	(3, 10, 92, 128)
<i>FLN—recursion</i>		
Spontaneous and training methods designed to uncover constraints on rule learning	Studies of serial order learning and finite-state grammars in tamarins and macaques	(114, 116, 117, 129)
Sign or artificial language in trained apes and dolphins	Studies exploring symbol sequencing and open-ended combinatorial manipulation	(130, 131)
Models of the faculty of language that attempt to uncover the necessary and sufficient mechanisms	Game theory models of language acquisition, reference, and universal grammar	(72–74)
Experiments with animals that explore the nature and content of number representation	Operant conditioning studies to determine whether nonhuman primates can represent number, including properties such as ordinality and cardinality, using such representations in conjunction with mathematical operands (e.g., add, divide)	(102–106, 132)
Shared mechanisms across different cognitive domains	Evolution of musical processing and structure, including analyses of brain function and comparative studies of music perception	(133–135)

# Vocalisations chez les primates et rôle du conduit vocal

Kellogg, W. N. (1968). Communication and language in the home-raised chimpanzee. *Science*, 162(3852), 423–427.

Lieberman, P. H., Klatt, D. H., & Wilson, W. H. (1969). Vocal tract limitations on the vowel repertoires of rhesus monkey and other nonhuman primates. *Science*, 164(3884), 1185–1187.

Liebermann et al (Science, 1969) : le conduit vocal des singes n'est pas adapté à la production vocale.

Keith et Catherine Hayes (1951) "ne sont parvenus qu'à faire produire à leur chimpanzée Viki des versions reconnaissables des mots "papa," "mama," et "cup", ainsi qu'une tendance à émettre le son "up". Elle n'avait qu'une seule voyelle pour tous ces mots, une sorte de chuchotement guttural exagéré."

Kellog (1968) conclut qu'il n'y a « pas la moindre suggestion que [le chimpanzé] essaie de reproduire la moindre vocalisation humaine » ; "Aucun grand singe n'a jamais été décrit qui babille ou qui gazouille, ce qui chez l'enfant parait une étape indispensable à l'articulation ultérieure des mots".

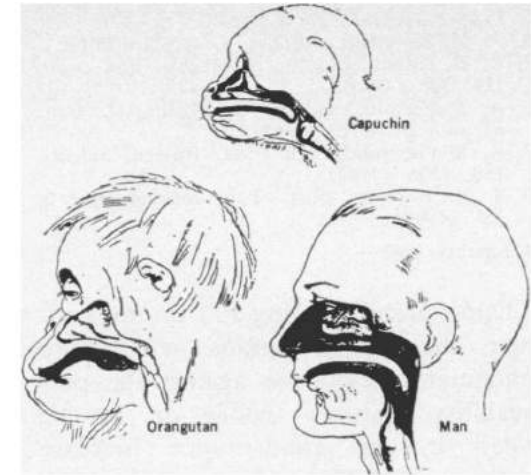


Fig. 4. Vocal tracts of monkey, ape, and man after Negus (10). The nonhuman primates lack a pharyngeal region where the root of the tongue forms a movable anterior wall. The nonhuman primates thus lack a speech-production mechanism where the area of the "back" pharyngeal region is variable and independent of the area of the "front" of the vocal tract.

Table 1. Principal chimpanzee-raising experiments.

Publication date	Investigator	Approx. duration	Approx. age of chimp at start	Sex and name of chimp	No. of child controls
1932	Jacobsen, Jacobsen, and Yoshioka (20)	1 year	A few days	F; Alpha	0
1932-67	Kellogg and Kellogg (5, 10-12)	9 months	7½ months	F; Gua	1
1935	Kohts (9)	2½ years	1½ years	M; Joni	1
None	Finch	3 years	3 days	M; Fin	2
1951-54	Hayes and Hayes (4, 14-18)	6½ years	3 days	F; Viki	0
1967	Gardner and Gardner (19)	In progress	9-15 months	F; Washoe	0



# Les mécanismes cérébraux de la production vocale

Jürgens, U. (2009). The neural control of vocalization in mammals: a review. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation*, 23(1), 1–10.



Coordination de plusieurs dizaines de muscles (lèvres, mâchoire, langue, larynx...), ainsi que de la respiration, pour parler à des vitesses qui peuvent atteindre 200 mots par minute.

Electromagnetic Midsagittal Articulography (EMA)

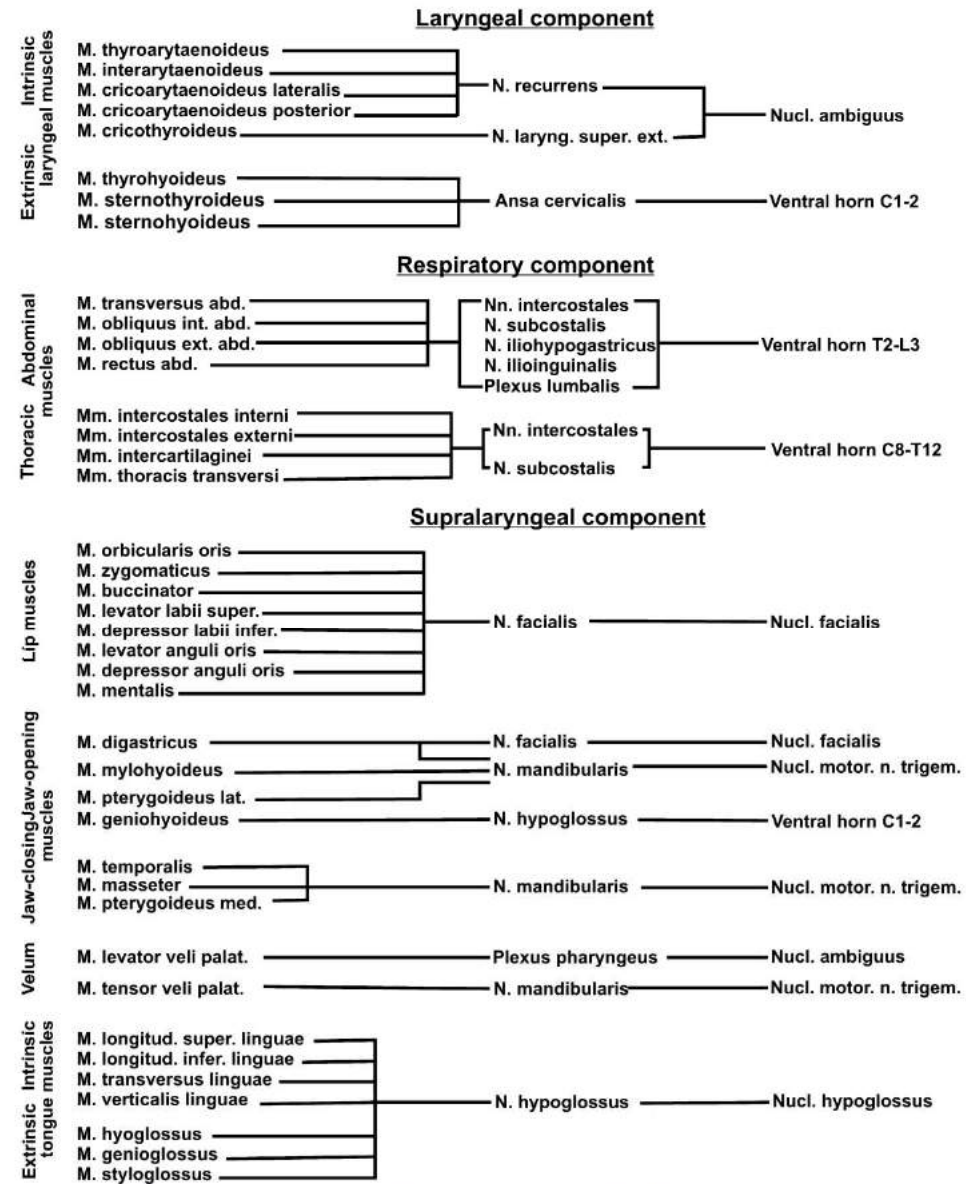
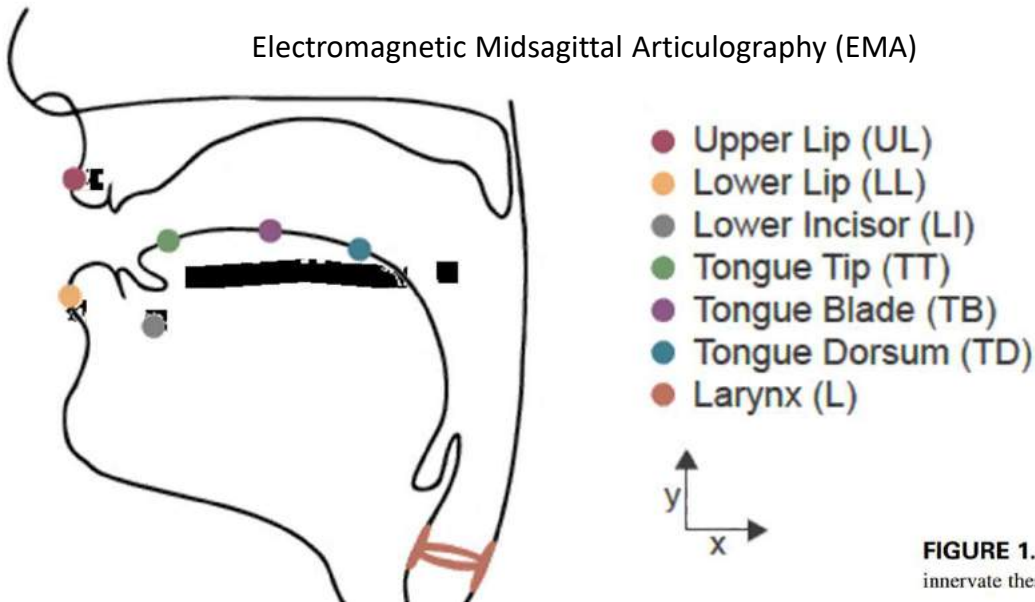
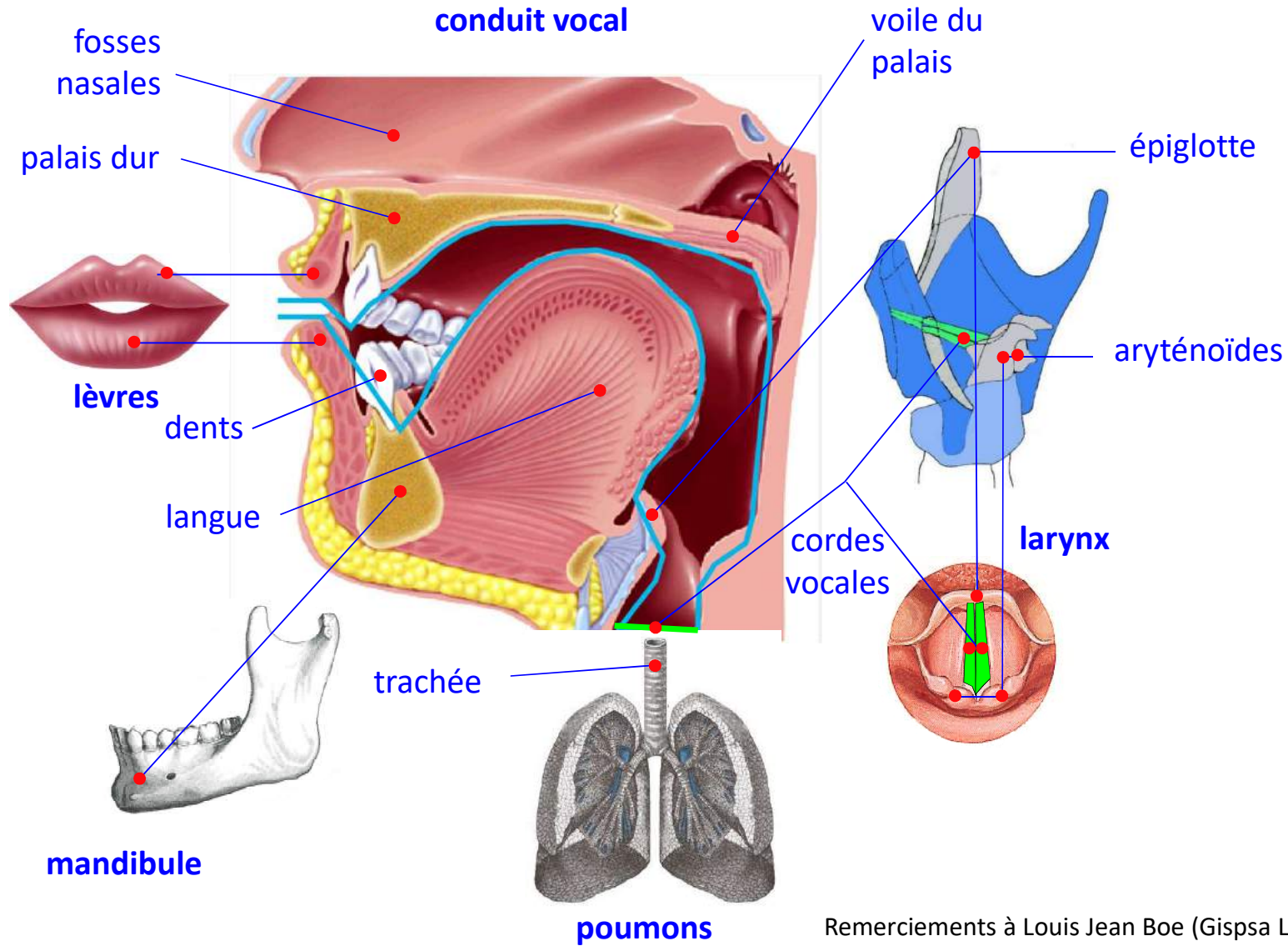


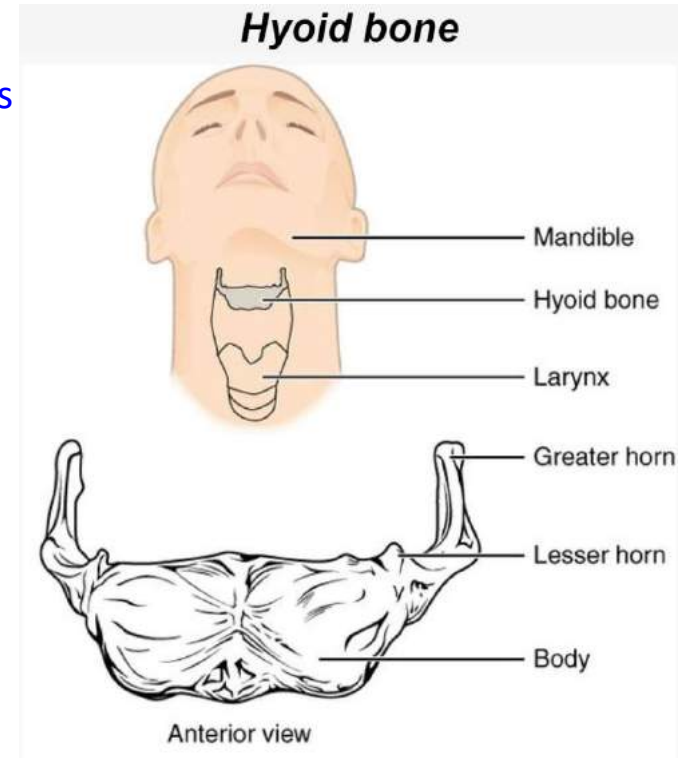
FIGURE 1. Innervation of the phonatory muscles. On the left side, the muscles involved in phonation are listed. In the middle, the nerves that innervate these muscles are listed. On the right side, the brain structures are indicated which contain the corresponding motoneurons.

# Exaptation pour la parole des organes de la respiration, de la succion, et de la déglutition

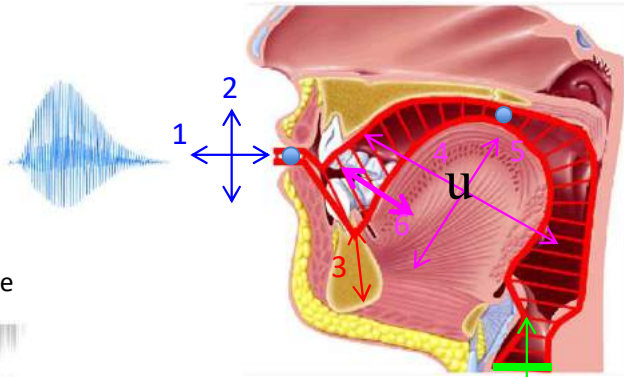


**Larynx:** organe cartilagineux situé au niveau de la gorge et qui abrite les cordes vocales

**Os hyoïde:** Situé au dessus du larynx, il sert de point d'attache à plusieurs muscles qui commandent la mâchoire, la langue, le pharynx et le larynx.

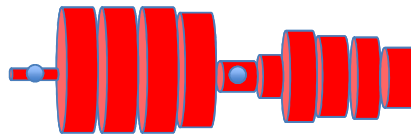


Remerciements à Louis Jean Boe (Gispsa Lab, Grenoble) et Joël Fagot (CNRS, Marseille)

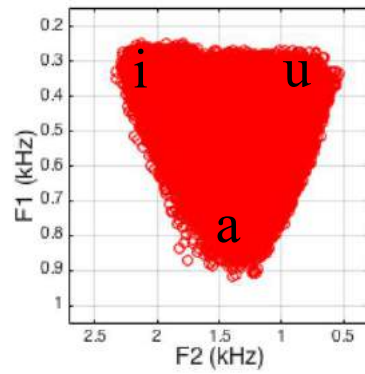


source vocale  F0

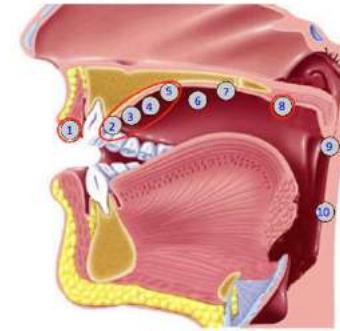
discrétisation du conduit vocal



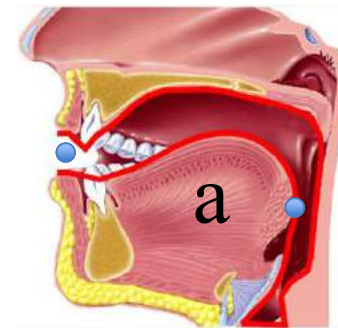
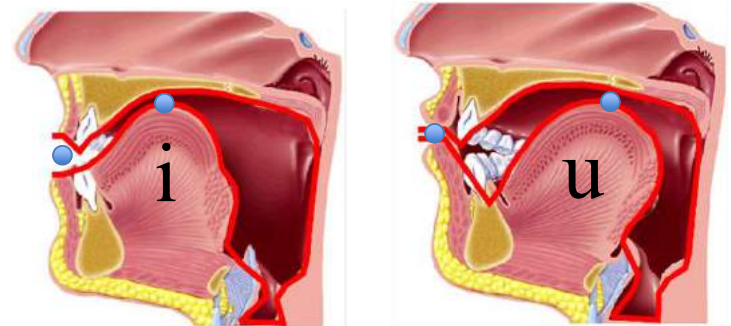
espace vocalique maximal



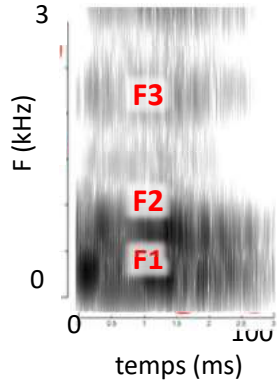
consonnes



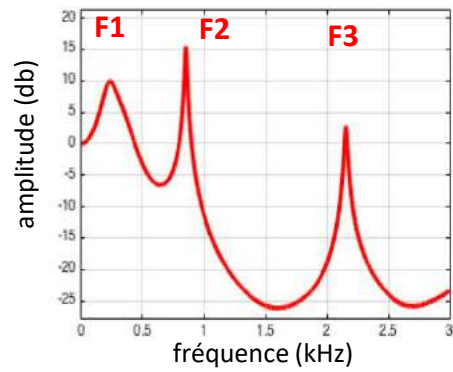
voyelles

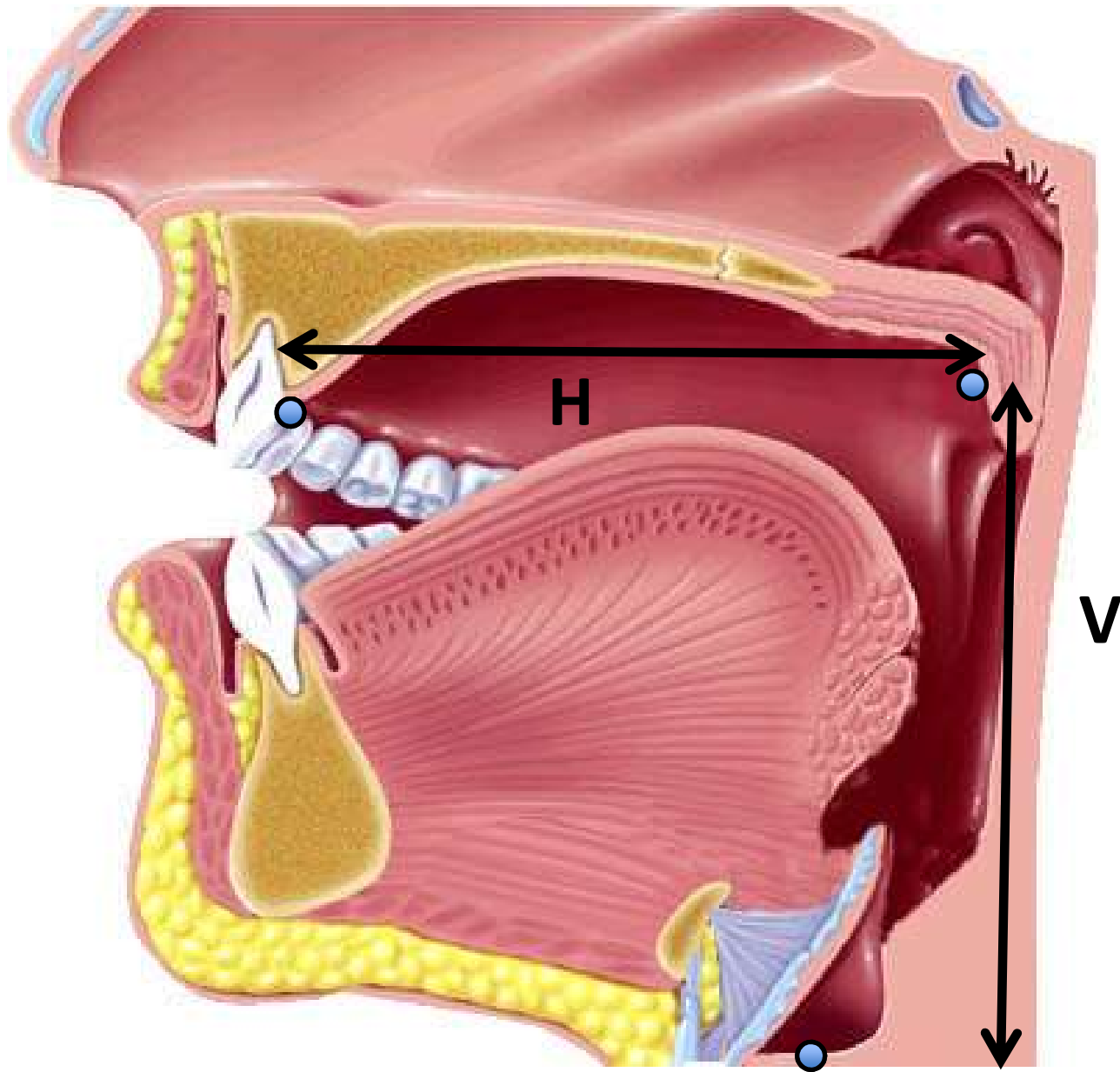


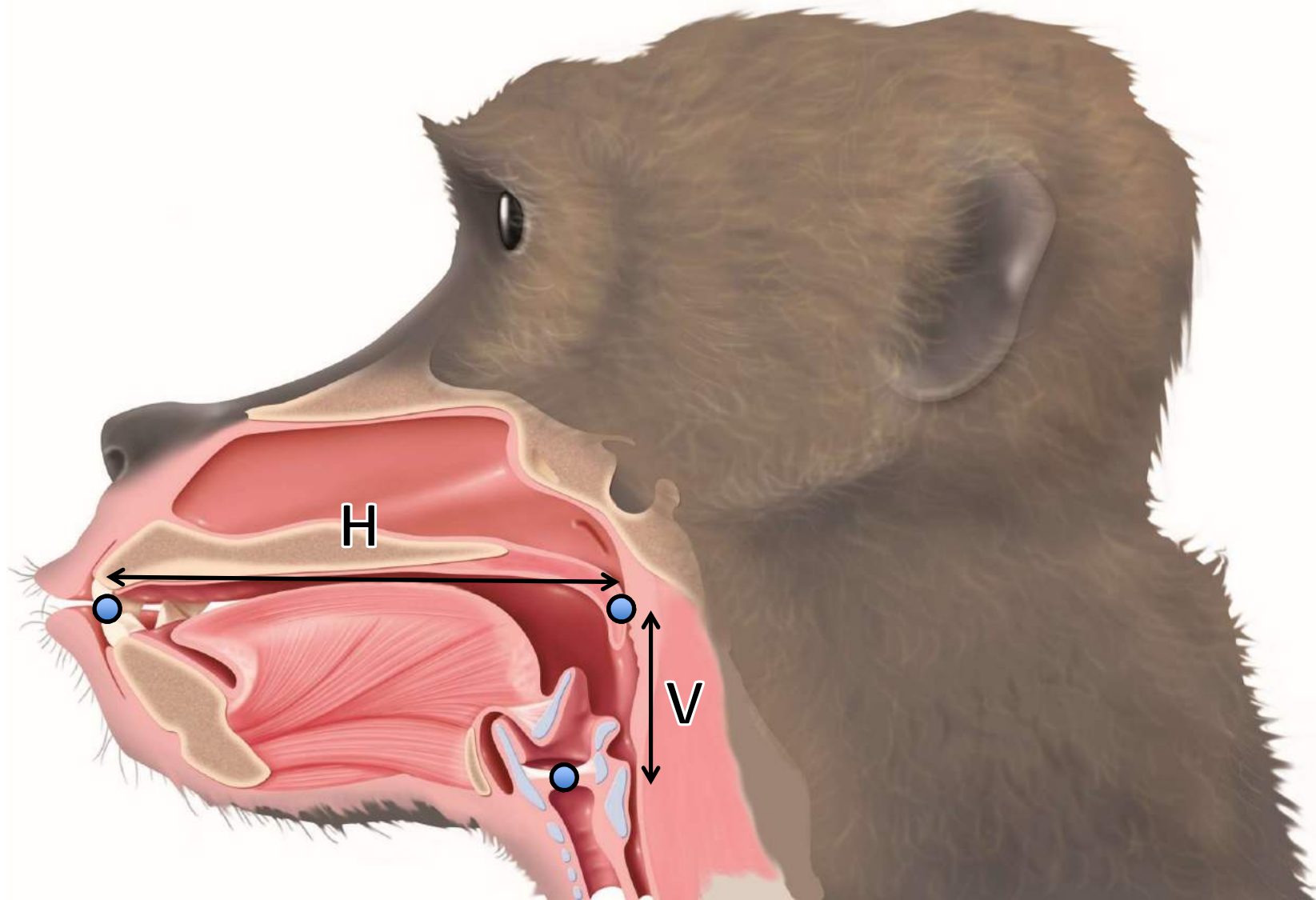
sonagramme



fonction de transfert

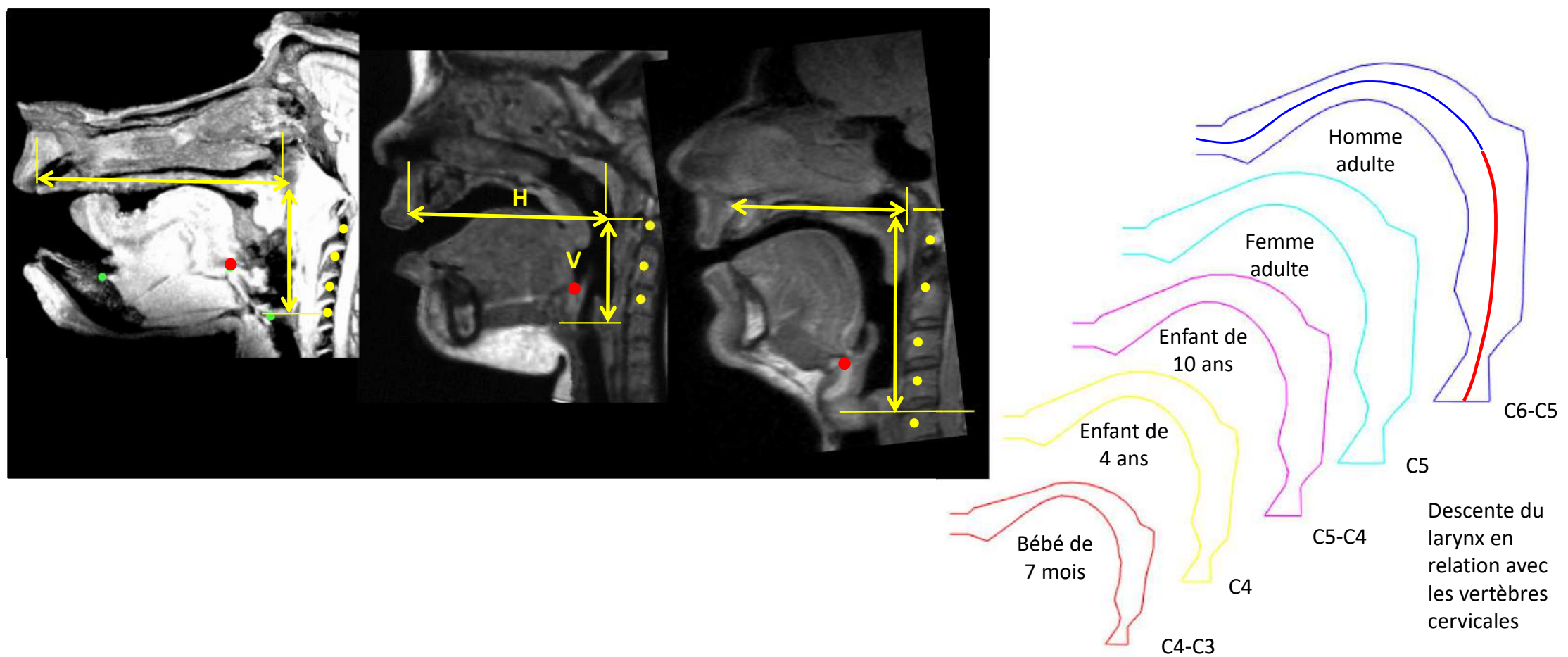






D'après Boë, L.-J., Berthommier, F., Legou, T., Captier, G., Kemp, C., Sawallis, T. R., ... Fagot, J. (2017). Evidence of a Vocalic Proto-System in the Baboon (*Papio papio*) Suggests Pre-Hominin Speech Precursors. *PLoS One*, 12(1), e0169321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169321>

# La descente du larynx ne peut pas tout expliquer : Le larynx descend tardivement au cours du développement humain





# La descente du larynx existe chez le chimpanzé

Nishimura, T., Mikami, A., Suzuki, J., & Matsuzawa, T. (2003). Descent of the larynx in chimpanzee infants. *PNAS*, 100(12), 6930–6933.

L'IRM anatomique montre une descente du larynx au cours du développement chez le chimpanzé.

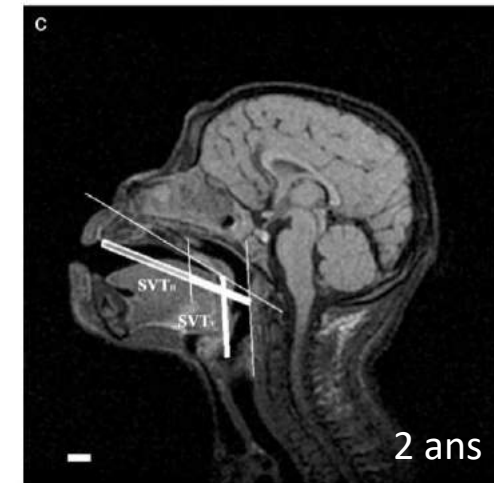
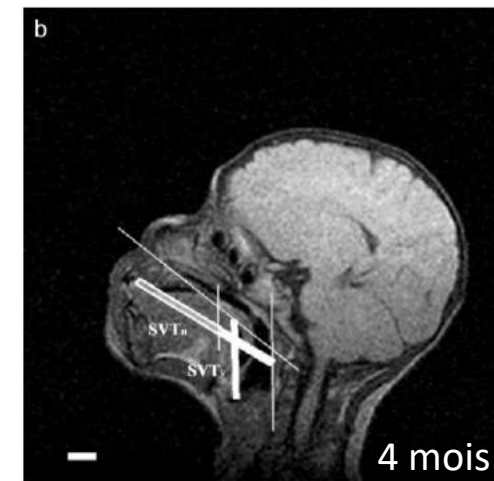
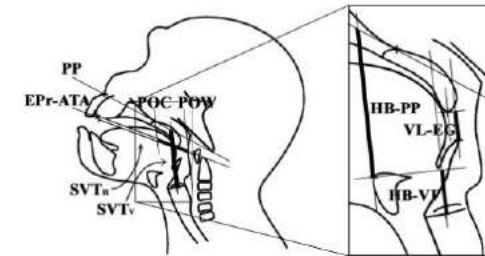
La descente n'est pas exactement identique:

« [chez le chimpanzé] la descente s'achève avec la descente rapide du squelette laryngé par rapport à l'hyoïde, mais celle-ci ne s'accompagne pas d'une descente de l'hyoïde lui-même. »

Conclusions:

« Notre étude conforte l'hypothèse que la descente du larynx a évolué en deux étapes: La première fut une descente rapide du squelette laryngé par rapport à l'hyoïde, au moins chez l'ancêtre commun des humains et chimpanzés, et la seconde fut la descente de l'hyoïde par rapport à la mandibule et la base du crâne, dans la lignée humaine. »

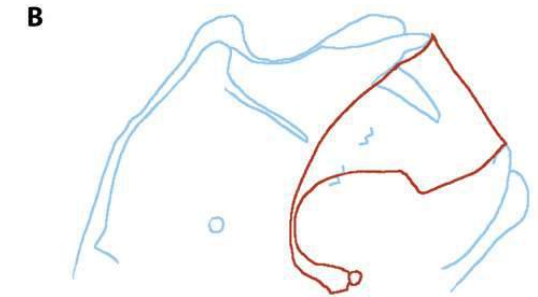
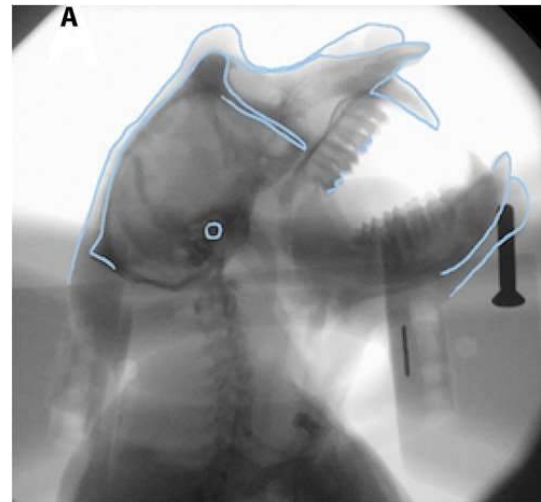
« La descente du larynx et les bases morphologiques de la production de la parole ont dû évoluer en partie durant l'évolution des hominoïdes [grands singes], et non d'un seul coup durant l'évolution des hominidés. »



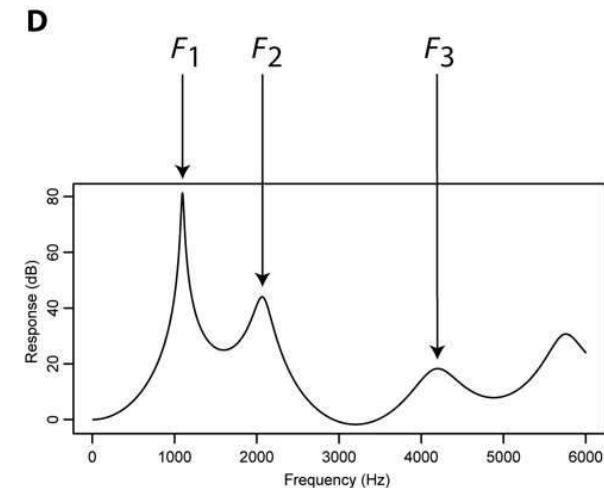
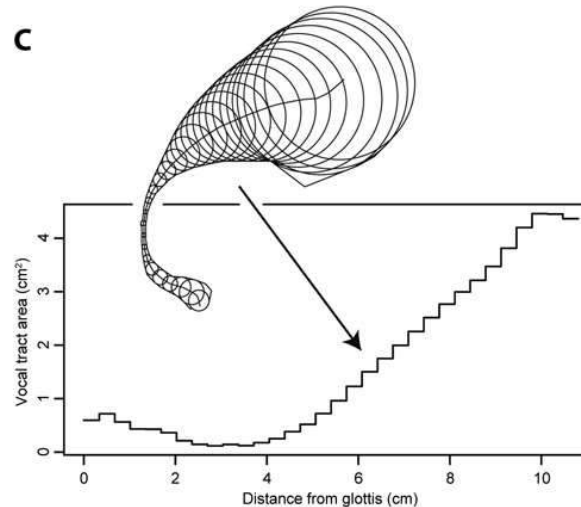
# Le conduit vocal des singes est « prêt à parler »

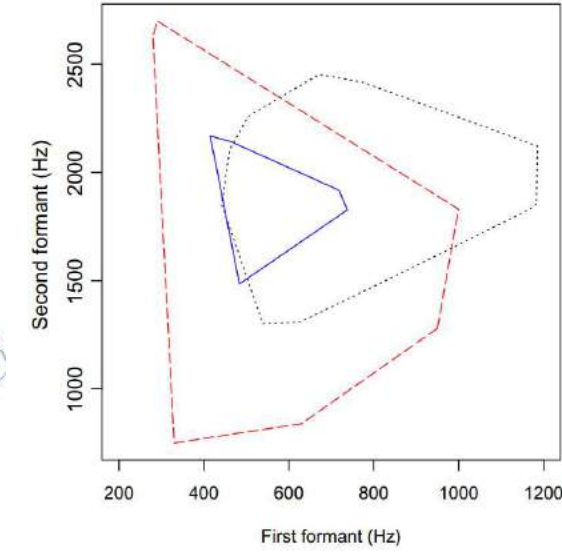
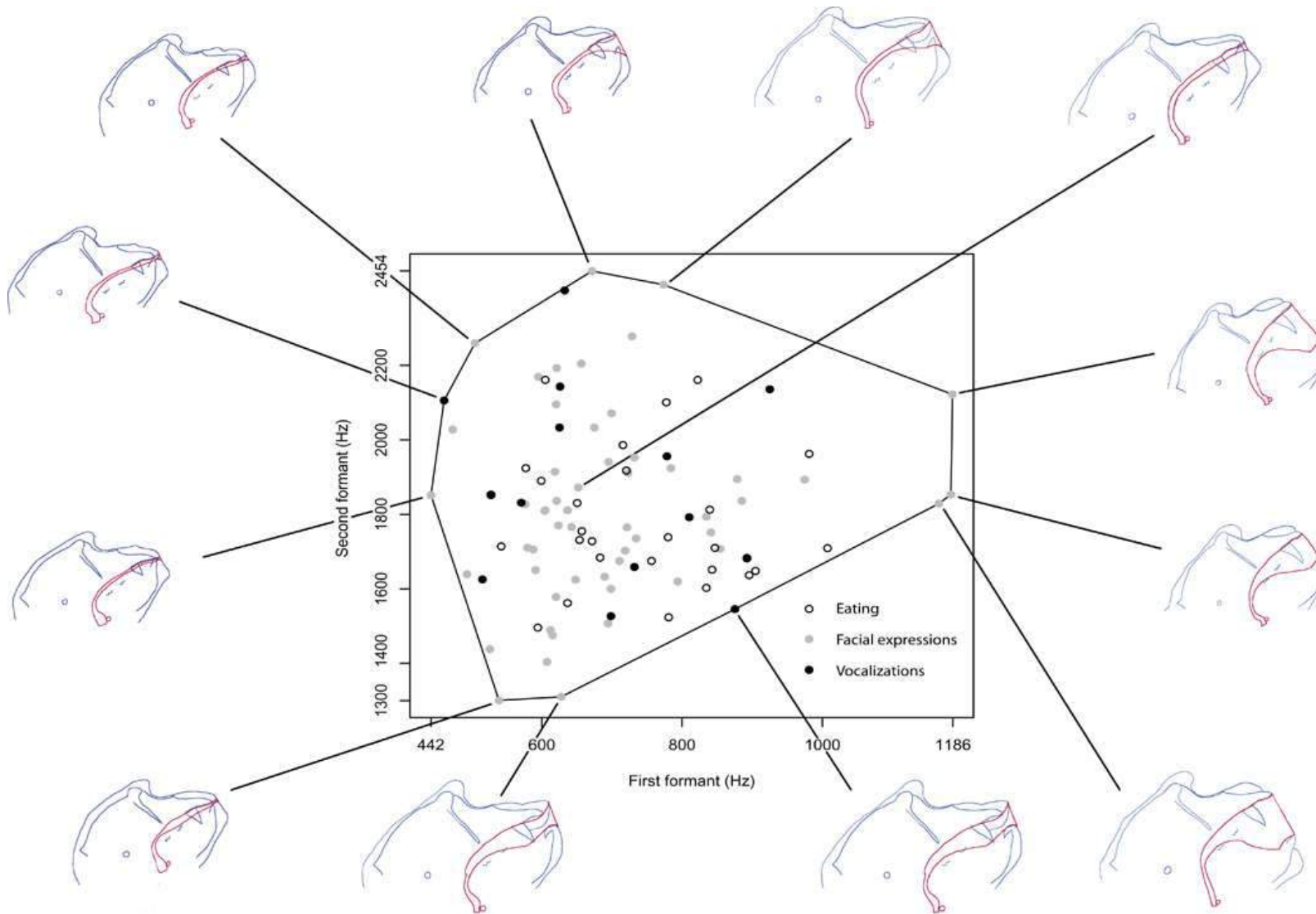
Fitch, W. T., Boer, B. de, Mathur, N., & Ghazanfar, A. A. (2016). Monkey vocal tracts are speech-ready. *Science Advances*, 2(12), e1600723. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600723>

Radiographie aux rayons X du conduit vocal de singes macaques, dans différentes configurations (ici, la production d'un signal de menace).



Extraction du diamètre des différentes sections, et simulation des sons qui pourraient en sortir.





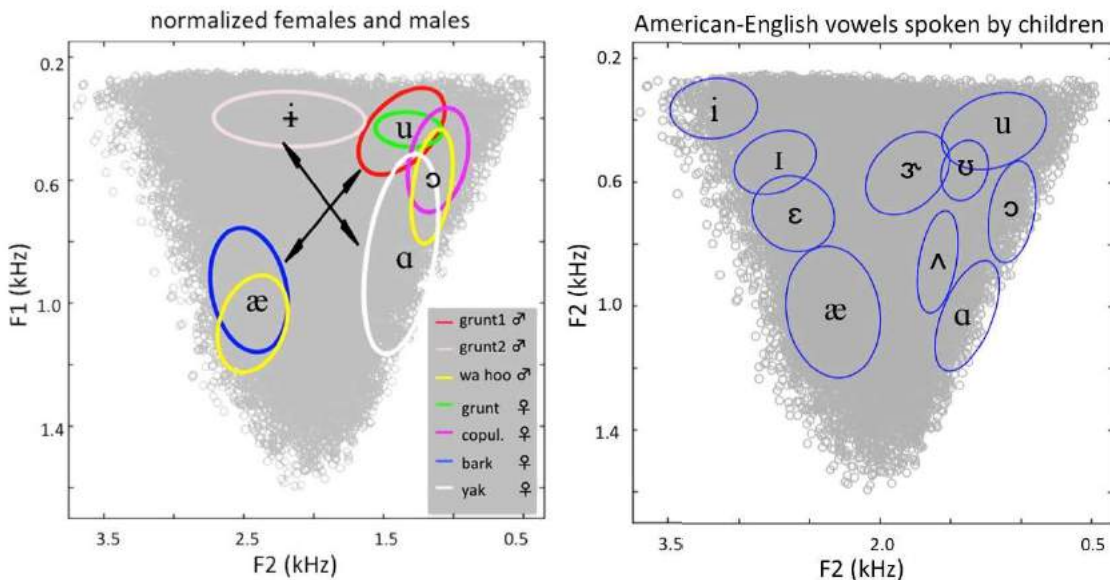
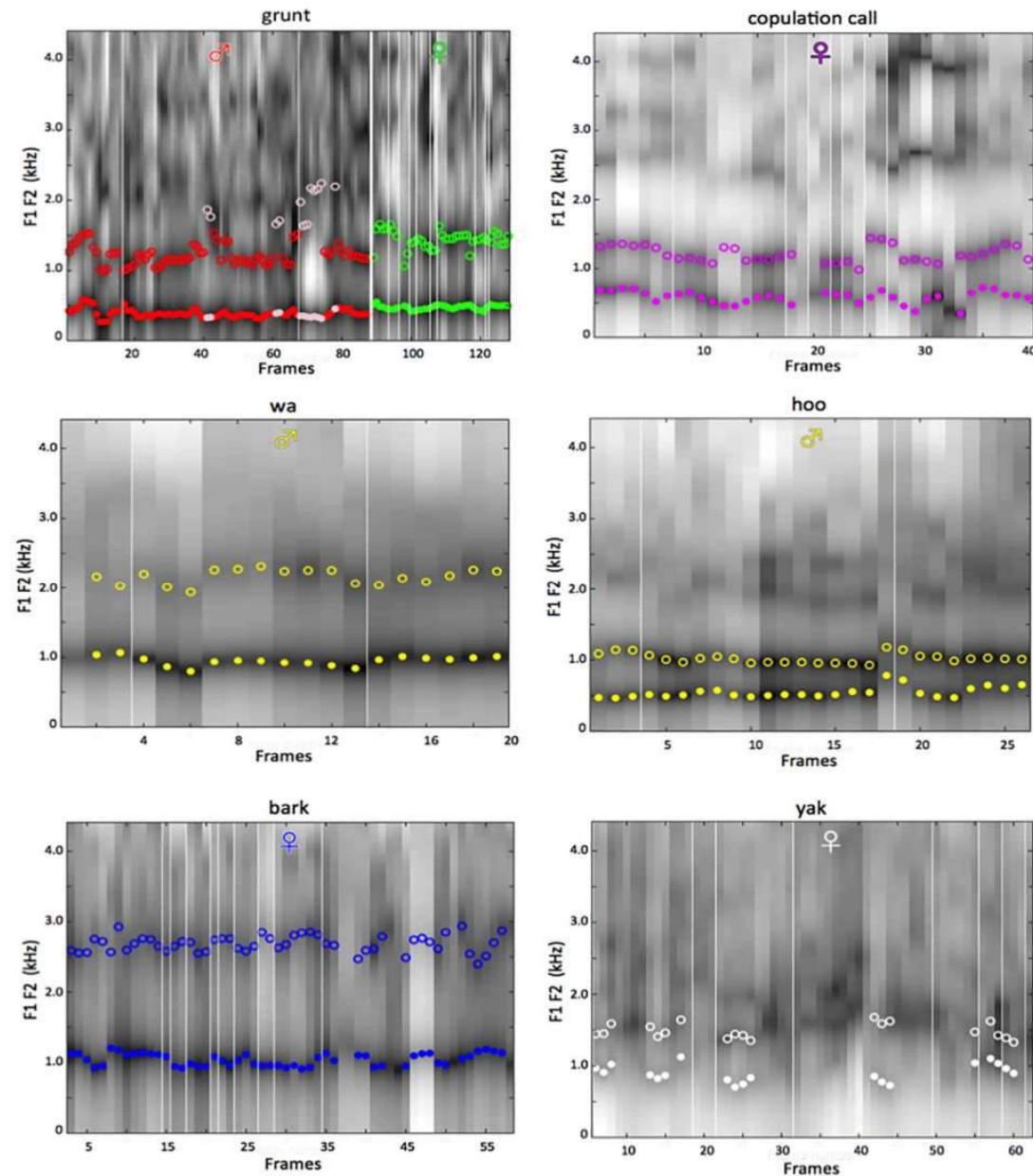
- - - Human (female)
- . . . Our monkey
- Lieberman's monkey

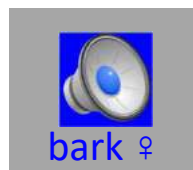
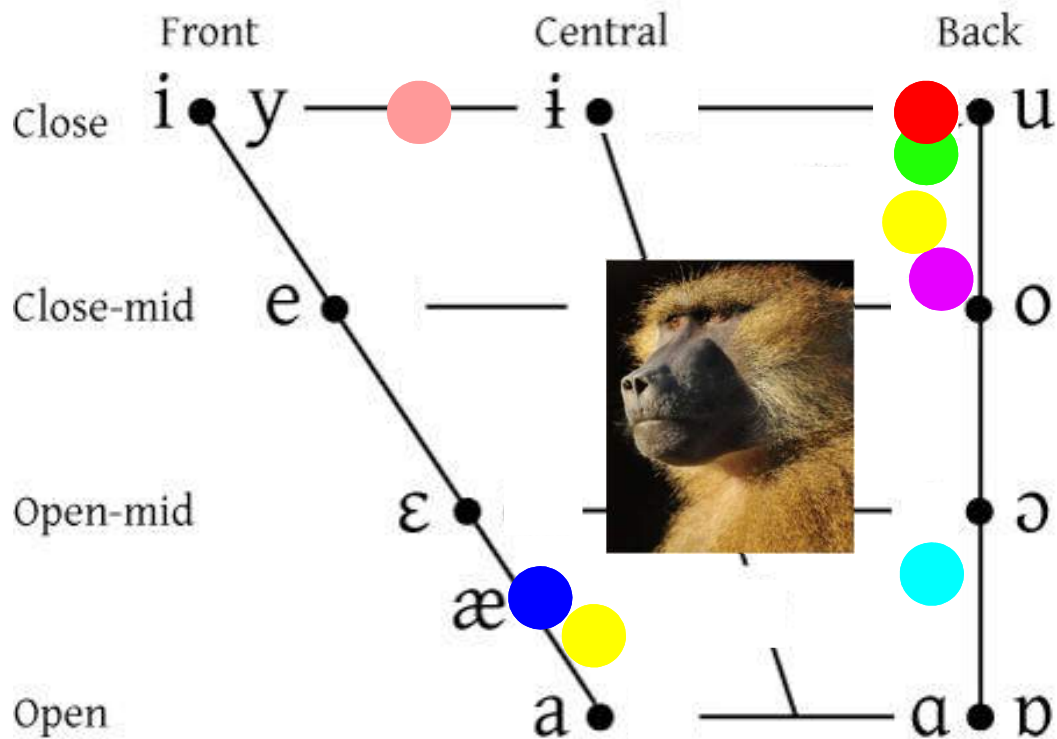
→ Les estimations de Liebermann ont clairement sous-estimé l'espace vocalique accessible au conduit vocal des singes.

# Les babouins produisent des proto-voyelles

Boë, L.-J., Berthommier, F., Legou, T., Captier, G., Kemp, C., Sawallis, T. R., ... Fagot, J. (2017). Evidence of a Vocalic Proto-System in the Baboon (*Papio papio*) Suggests Pre-Hominin Speech Precursors. *PloS One*, 12(1), e0169321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169321>

L'enregistrement montre que les babouins (*Papio papio*) produisent des sons qui partagent la structure en formants F1/F2 caractéristique des voyelles humaines *i æ ɔ u*. La descente du larynx n'est donc pas responsable de la production des voyelles.





# Les babouins produisent des proto-voyelles

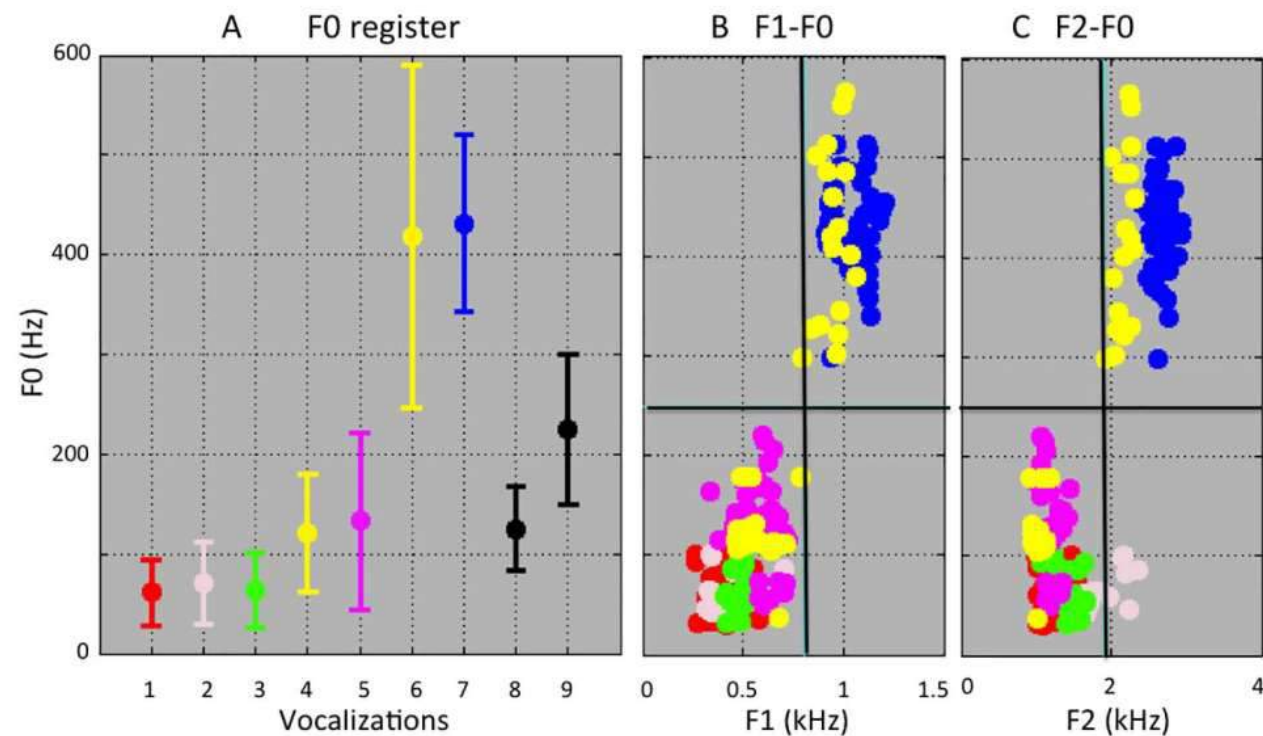
Boë, L.-J., Berthommier, F., Legou, T., Captier, G., Kemp, C., Sawallis, T. R., ... Fagot, J. (2017). Evidence of a Vocalic Proto-System in the Baboon (*Papio papio*) Suggests Pre-Hominin Speech Precursors. *PLoS One*, 12(1), e0169321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169321>

Autre observation intéressante: la fréquence fondamentale F0 varie énormément, entre 30 et 600 Hz, soit 4 octaves et demi (alors qu'elle ne varie de l'ordre d'un octave dans la conversation normale humaine)

Surtout, contrairement aux vocalisations linguistiques humaines, F0 n'est pas découplée de F1 et F2.

L'apparition de ce découplage pourrait expliquer l'augmentation considérable des capacités de communication dans l'espèce humaine:

« Nous suggérons que les différentes qualités de voyelles ont été progressivement de plus en plus exploitées pour la communication humaine, au fil de l'évolution d'une précision croissante du contrôle du conduit vocal dans la lignée des hominidés. »



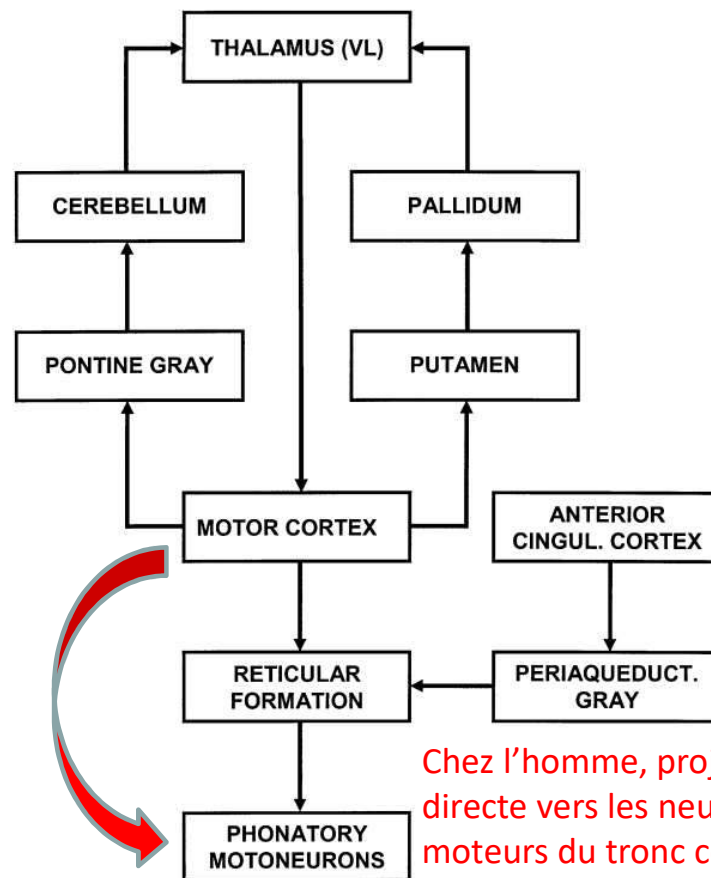
## Deux voies pour le contrôle des vocalisations

Jürgens, U. (2009). The neural control of vocalization in mammals: a review. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation*, 23(1), 1–10.

Chez le singe, division entre deux voies pour le contrôle des mouvements de la bouche et de la vocalisation:

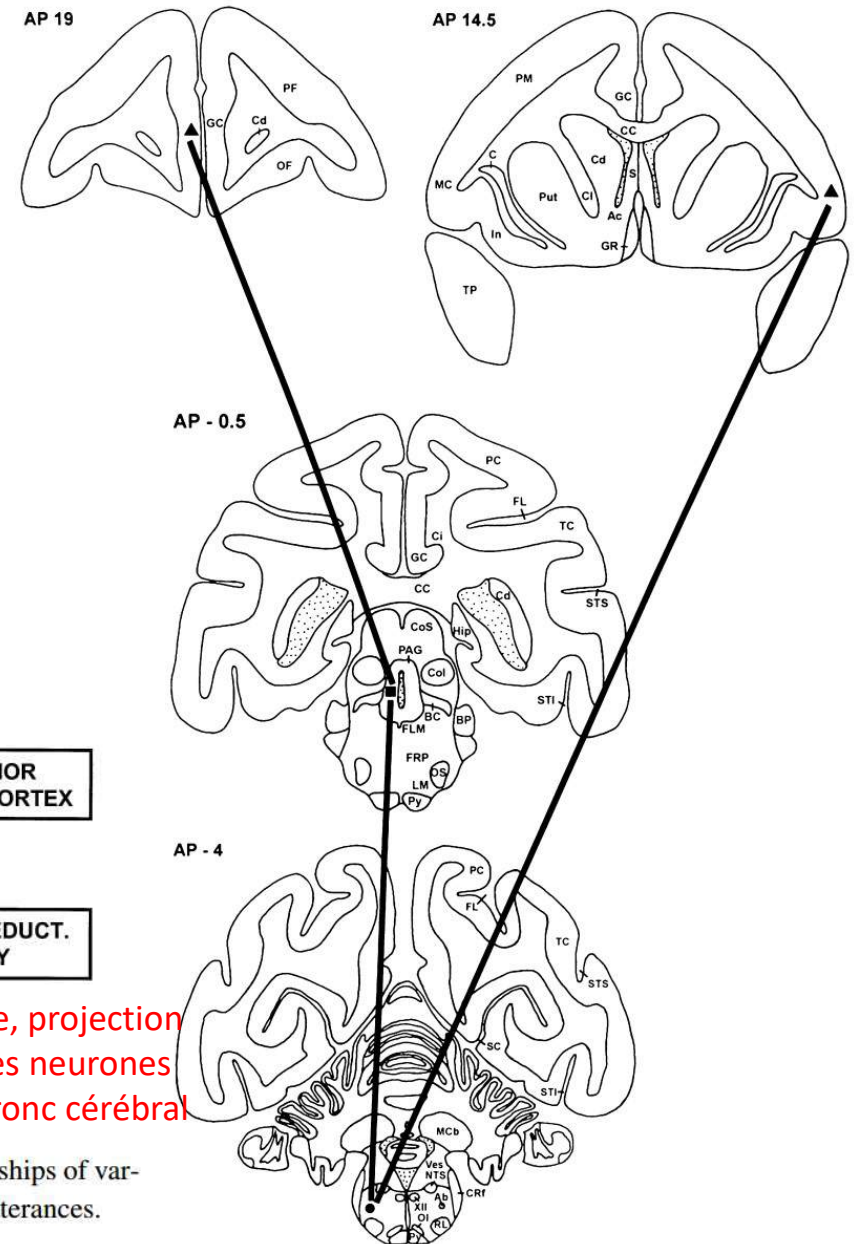
- Une voie « limbique » impliquant le cortex cingulaire antérieur (dont la stimulation induit des vocalisations)
- Une voie « corticomotrice » impliquant le cortex moteur et ses voies associées (noyaux gris, cervelet)

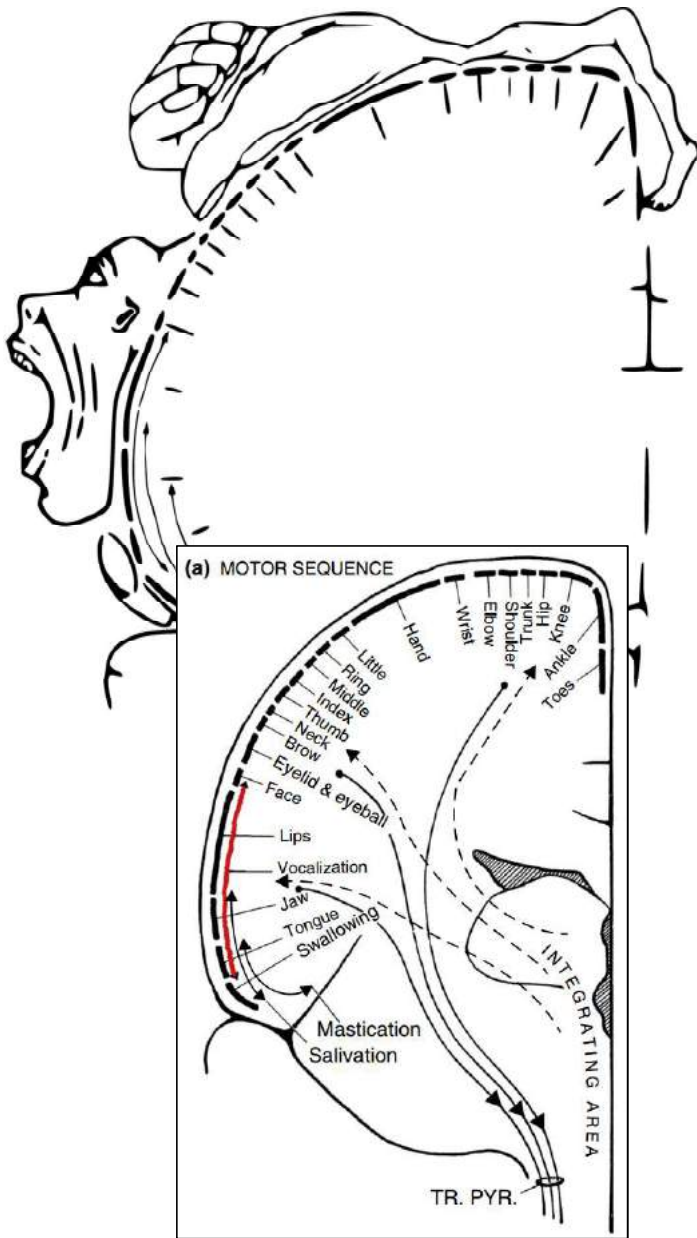
Chez l'homme aussi, la lésion bilatérale du cortex moteur laryngé rend incapable de moduler la parole (en prosodie, intensité, harmonie), mais les vocalisations émotionnelles telles que le rire et les pleurs (contrôlés par le cortex cingulaire et la PAG) sont préservées.



Chez l'homme, projection directe vers les neurones moteurs du tronc cérébral

**FIGURE 9.** Scheme illustrating the anatomical relationships of various structures involved in the control of learned vocal utterances.





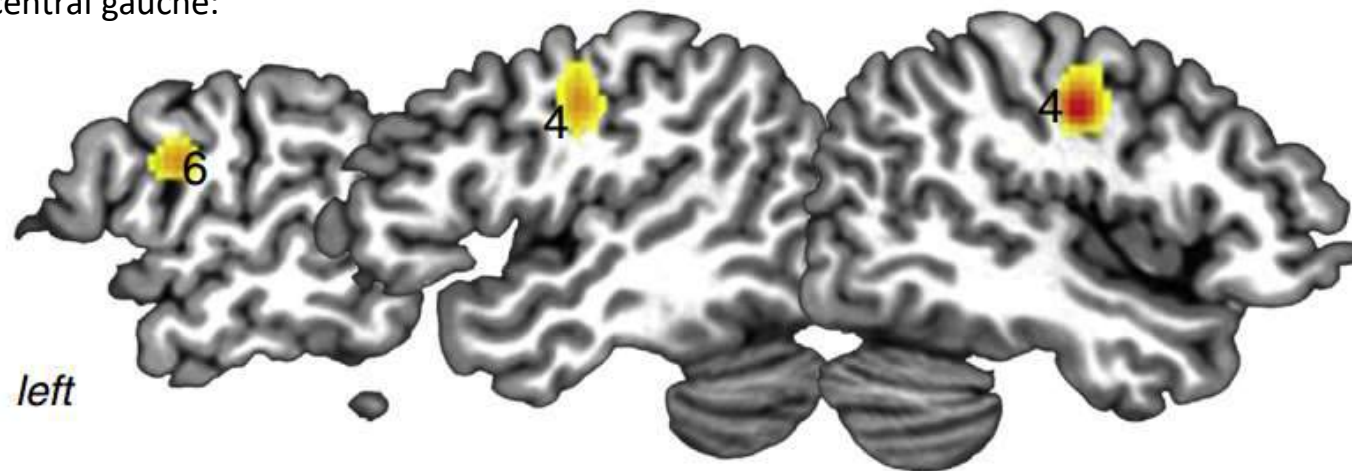
## La localisation du cortex laryngé dans l'espèce humaine

Simonyan, K. (2014). The laryngeal motor cortex: its organization and connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, 28, 15–21.

Chez l'homme, le contrôle du larynx et de la voix est resté inconnu jusqu'à très récemment.

Penfield supposait une localisation ventrale dans la partie inférieure du sillon précentral, à proximité de la représentation dont la stimulation conduit à des mouvements des lèvres, de la mâchoire et de la langue.

Cependant l'imagerie cérébrale suggère une localisation nettement plus dorsale de la commande motrice du larynx: aire 4 dans le sillon central bilatéral, et aire 6 dans le sillon précentral gauche:



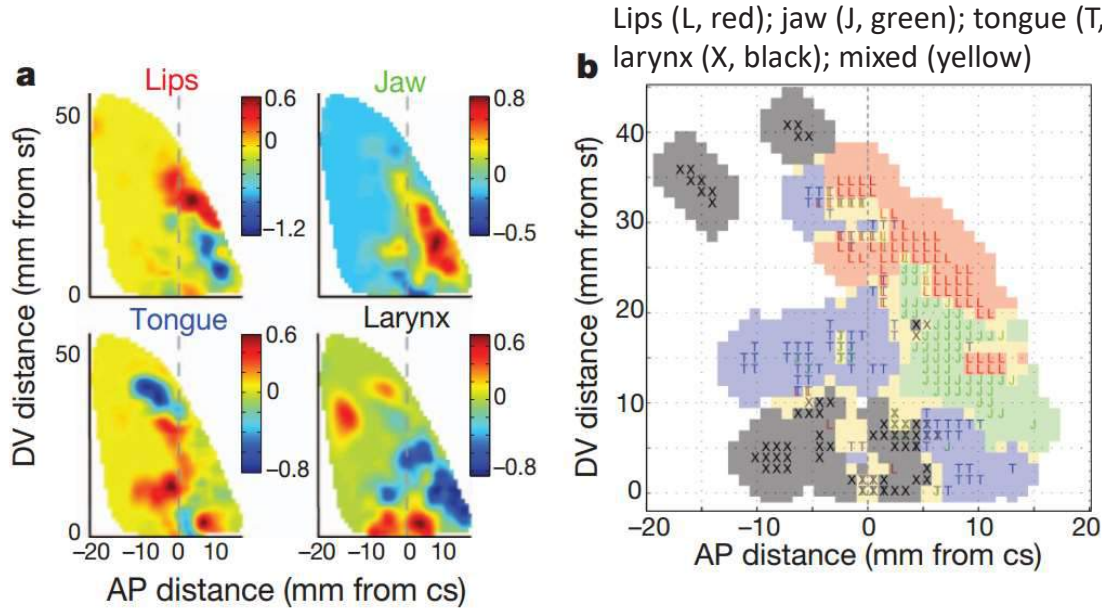
Méta-analyse de 19 études d'IRM fonctionnelle de la production de la parole



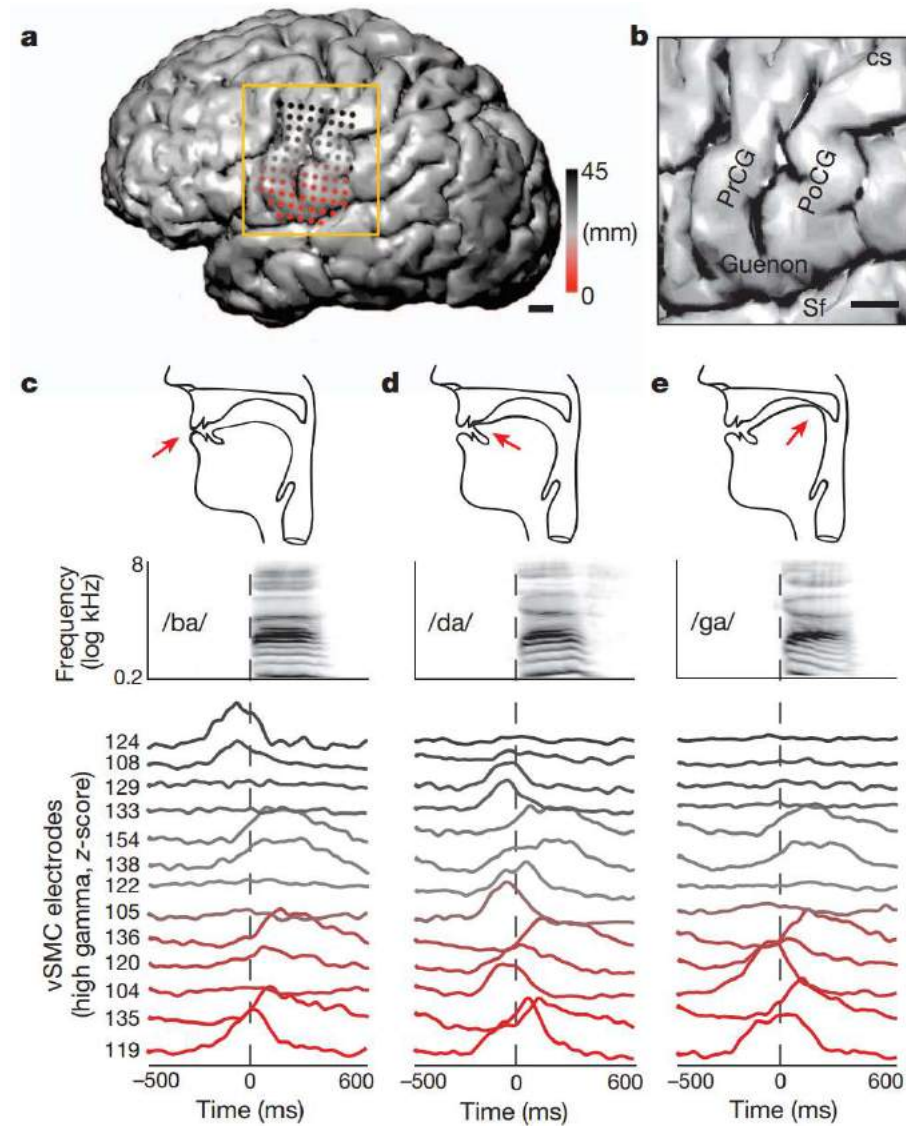
# Vocalisations chez l'homme

Bouchard, K. E., Mesgarani, N., Johnson, K., & Chang, E. F. (2013). Functional organization of human sensorimotor cortex for speech articulation. *Nature*, 495(7441), 327–332

Enregistrement des réponses du cortex sensori-moteur ventral gauche au cours de la production de syllabes (ba, da, ga...)  
 Organisation somatotopique, avec une double représentation du larynx.



Le larynx sert à la fois à produire le voisement et la hauteur (prosodie).  
 La région motrice dorsale, qui serait unique à l'espèce humaine, servirait uniquement à la production de la prosodie.



# Le contrôle de la hauteur (*pitch*) est confiné au cortex moteur laryngé dorsal

Eddie Chang et Ben Dichter, travaux soumis

I never said she stole my money

*I* never said she stole my money

I **never** said she stole my money

I never **said** she stole my money

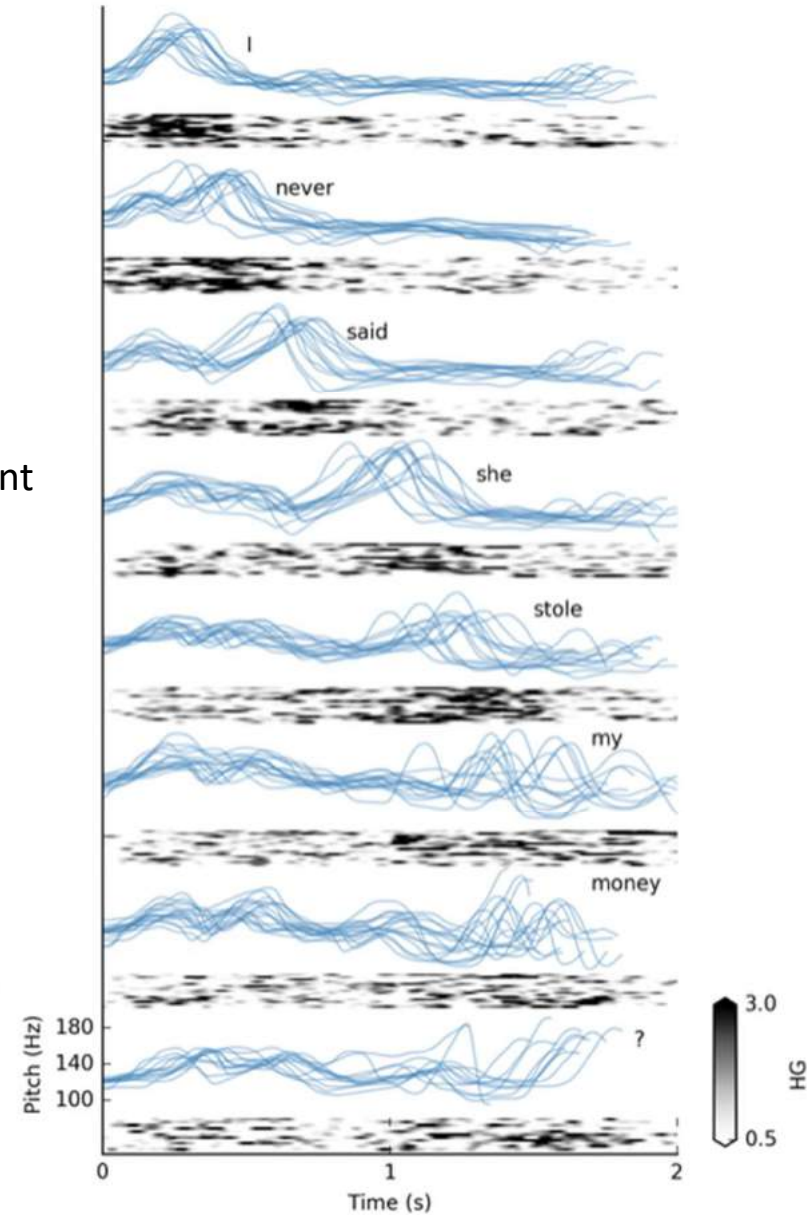
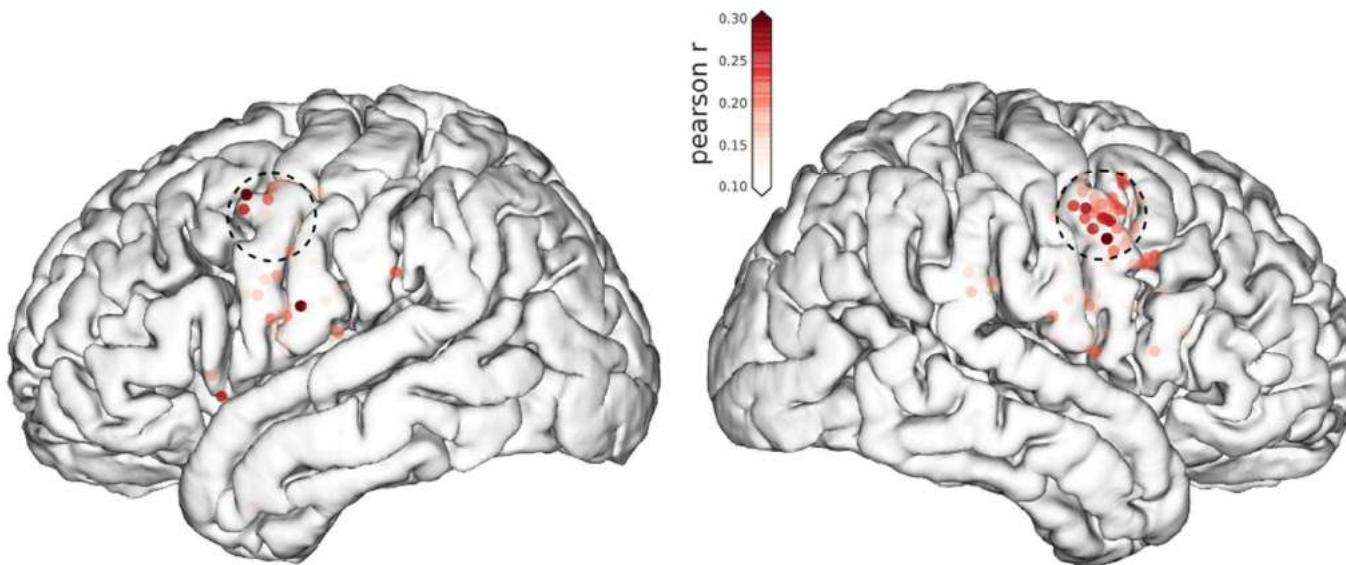
I never said **she** stole my money

I never said she **stole** my money

I never said she stole **my** money

I never said she stole my **money**

Ces électrodes répondent également lorsque la personne chante.

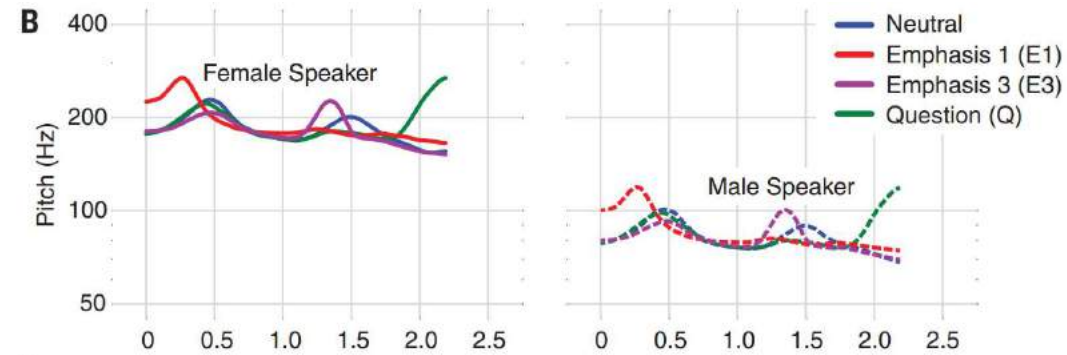
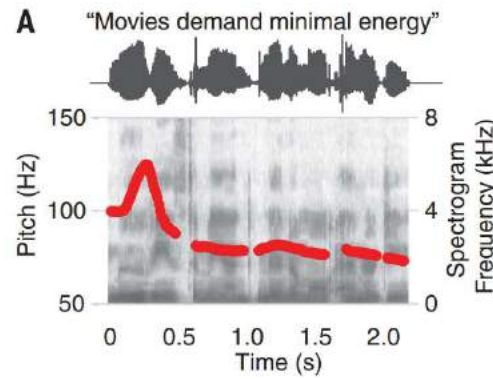


# Le codage de la prosodie dans le cortex auditif

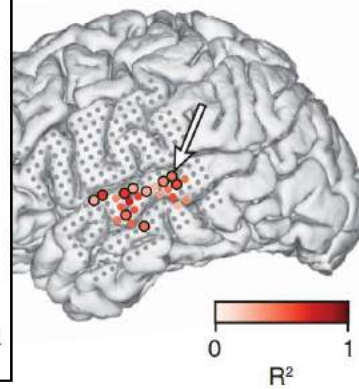
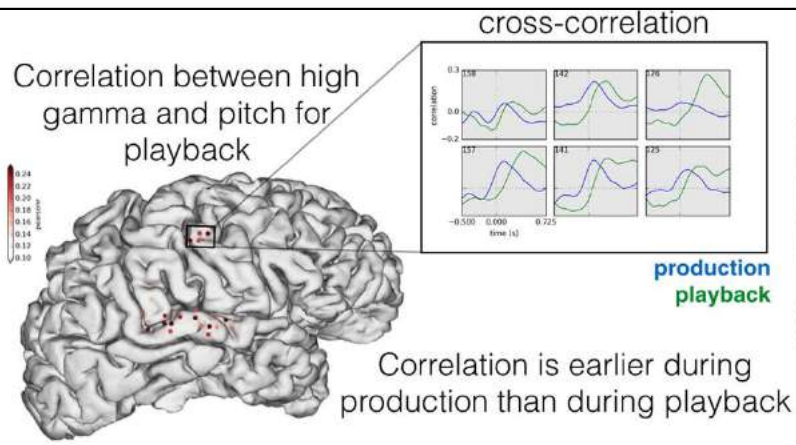
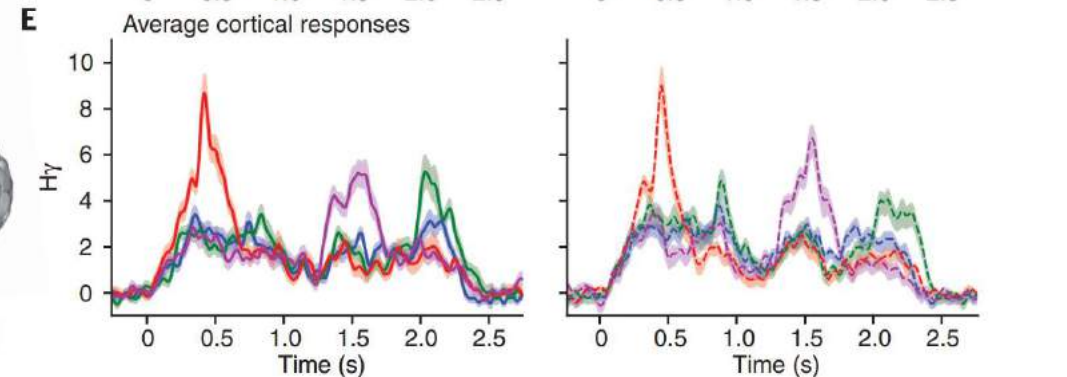
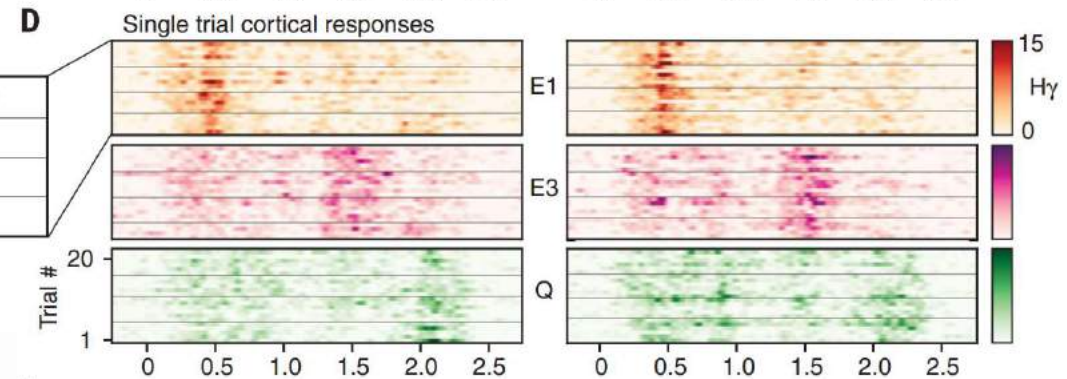
Tang, C., Hamilton, L. S., & Chang, E. F. (2017). Intonational speech prosody encoding in the human auditory cortex. *Science*, 357(6353), 797–801.

Certaines électrodes dans le cortex temporal supérieur sont spécifiquement sensibles à l'écoute de la prosodie.

Le cortex moteur laryngé répond également à la simple écoute de phrases avec une accentuation prosodique (travaux d'Eddie Chang et Ben Dichter)



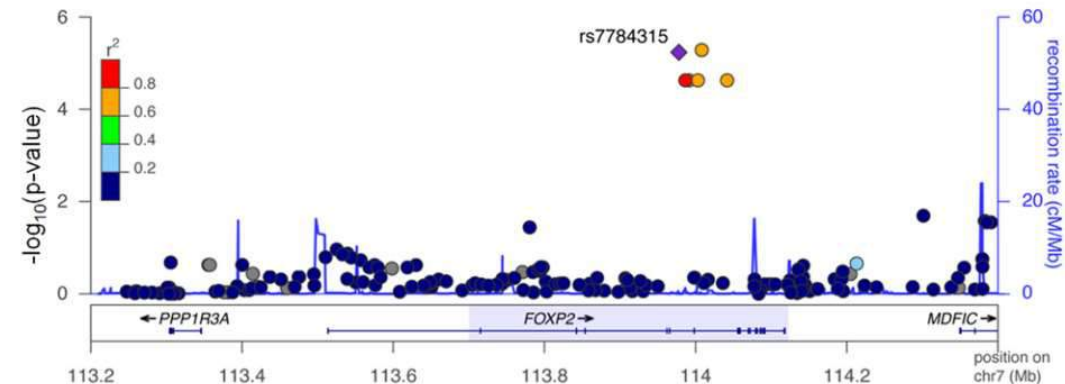
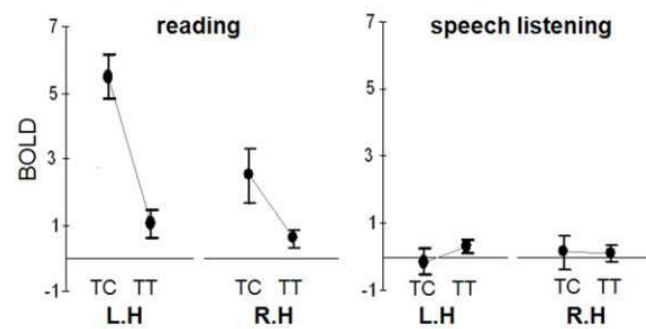
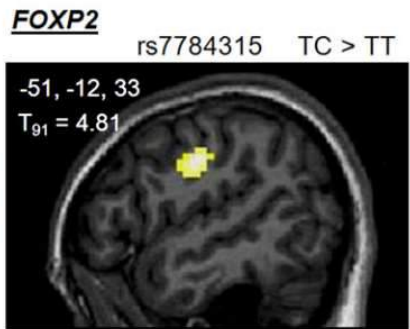
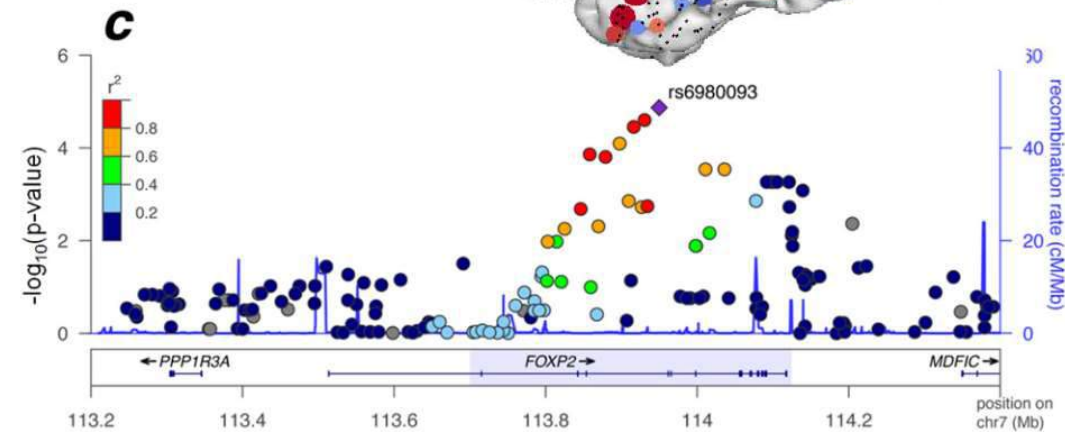
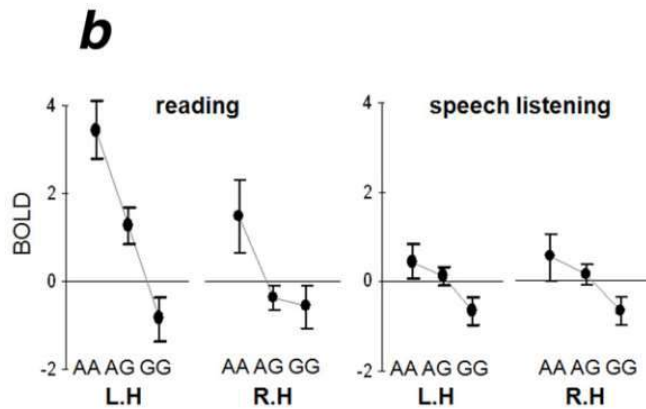
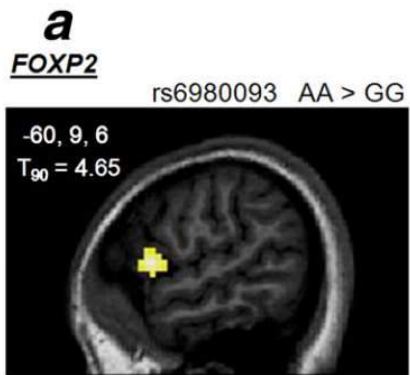
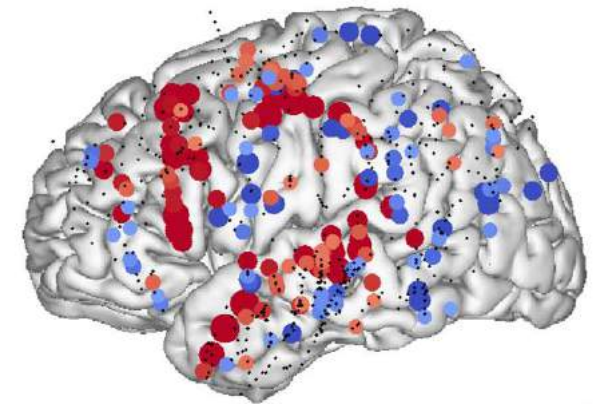
“Humans value genuine behavior”  
 “Movies demand minimal energy”  
 “Reindeer are a visual animal”  
 “Lawyers give a relevant opinion”



# Quelques observations du laboratoire sur la contribution de cette région au traitement du langage

Cette région s'active au cours de la lecture mentale, son activité suit la structure syntaxique de la phrase (Nelson et al., 2017)

Son activité est bilatérale est modulée par les polymorphismes du gène FoxP2 (Pinel et al., 2012)



# Synthèse:

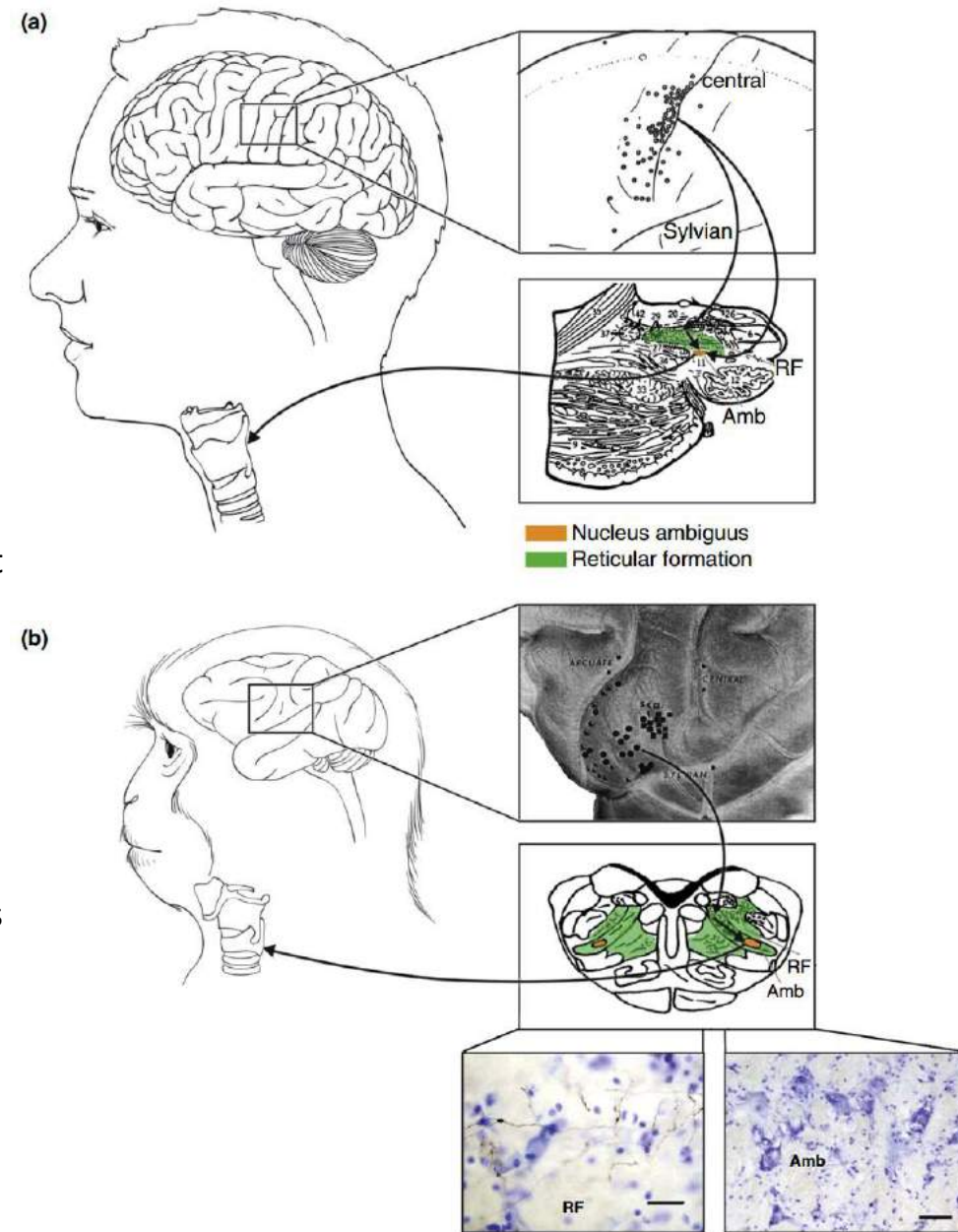
## Le cortex laryngé chez l'homme et le singe macaque

Simonyan, K. (2014). The laryngeal motor cortex: its organization and connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, 28, 15–21.

Plusieurs différences importantes:

1. Il existe des projections directes du cortex moteur humain vers les neurones moteurs du tronc cérébral (*nucleus ambiguus*)
  - Alors que chez le primate non-humain, les projections corticales ont toujours un relais dans la formation réticulée.
2. Le secteur du cortex humain où la stimulation évoque des vocalisations est nettement dorsal dans le cortex moteur (partie postérieure de l'aire 4.
  - chez le singe macaque, le cortex laryngé est situé beaucoup plus bas et dans la région prémotrice (PMv [*ventral premotor cortex*], aire 6 de Brodmann, également appelée 6VR [Paxinos] ou F5 [Saleem & Logothetis])).
3. La stimulation de cette région, chez le singe, n'entraîne pas de vocalisations, mais des contractions des différents muscles du larynx.
  - Par contre, cette région contient des neurones qui répondent pendant les vocalisations, chez l'animal entraîné à les produire « à volonté » (travaux d'Andreas Nieder)

Les choses ont donc changé : il existe un **contrôle cortical plus direct et plus complexe des vocalisations** dans l'espèce humaine.



## Conclusions

« Le langage » est un système complexe au sein duquel il faut distinguer, selon Hauser, Chomsky et Fitch

- Un noyau : la **capacité de récursion**, qui sous-tend la syntaxe et permet de former une infinité d'expressions
- Des interfaces vers les systèmes
  - Sensori-moteur
  - Conceptuel-intentionnel

Aujourd'hui nous avons exploré **le système moteur de production vocale**

L'anatomie du larynx ne joue peut-être pas un rôle aussi essentiel qu'on le pensait.

Par contre, il existe clairement des adaptations spécifiques à homo Sapiens, par rapport aux autres primates

- cortex moteur laryngé
- projection directe vers les neurones moteurs du tronc cérébral

La semaine prochaine, nous étudierons les aspects spontanés de la communication animale...

... et nous verrons que de nombreux aspects de cette organisation sont déjà présentes et utilisées pour la communication chez d'autres espèces capables d'apprentissage vocal: les oiseaux chanteurs !