



HAL
open science

Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole. Prédiction de la capacité des conduits vocaux de fossiles reconstitués à produire des sons de parole

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz, Pierre Badin, Guillaume Barbier, Guillaume Captier, Antoine Serrurier, Nicolas Kielwasser

► To cite this version:

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz, Pierre Badin, et al.. Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole. Prédiction de la capacité des conduits vocaux de fossiles reconstitués à produire des sons de parole. *Revue de Primatologie*, 2011, 3, pp.document 14. 10.4000/primatologie.797 . hal-00640386

HAL Id: hal-00640386

<https://hal.science/hal-00640386>

Submitted on 3 Dec 2018

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.



Revue de primatologie

3 (2011)

Varia

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz,
Pierre Badin, Guillaume Barbier, Guillaume Captier, Antoine Serrurier et
Nicolas Kielwasser

Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole

Prédiction de la capacité des conduits vocaux de
fossiles reconstitués à produire des sons de parole

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz, Pierre Badin, Guillaume Barbier, Guillaume Captier, Antoine Serrurier et Nicolas Kielwasser, « Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole », *Revue de primatologie* [En ligne], 3 | 2011, document 14, mis en ligne le 15 octobre 2011.
URL : <http://primatologie.revues.org/797>

DOI : en cours d'attribution

Éditeur : Société francophone de primatologie

<http://primatologie.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :

<http://primatologie.revues.org/797>

Document généré automatiquement le 16 novembre 2011.

© SFDP

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz,
Pierre Badin, Guillaume Barbier, Guillaume Captier, Antoine Serrurier
et Nicolas Kielwasser

Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole

Prédiction de la capacité des conduits vocaux de fossiles reconstitués à produire des sons de parole

Historique

Soumis 7 juillet 2011. Accepté après révision 14 octobre 2011

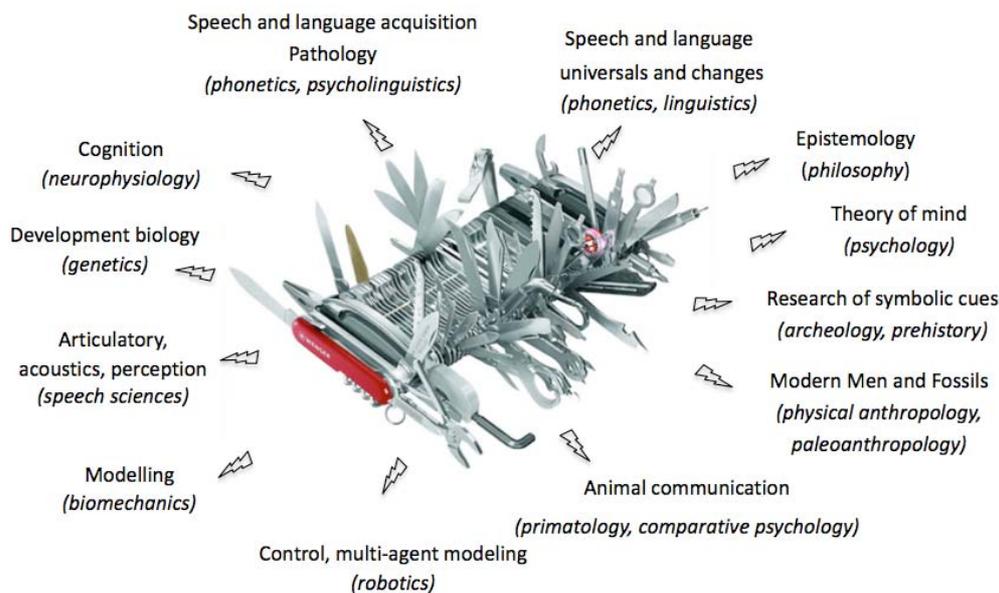
1 Introduction

- 1 La parole – pierre de touche pour le moins philosophique, cognitive, linguistique et sociale – confère un statut singulier à l'Homme en tant qu'espèce vivante. Le questionnement de l'origine de la parole, les conditions de son émergence, la nature de sa production et de sa perception, la compréhension de son acquisition et de sa pathologie, l'exploration de sa diversité dans les langues du monde, suscitent de nombreuses questions. Celles-ci restent encore très largement débattues alors qu'elles renvoient, en même temps, à des intuitions, à des croyances et à des mythes plusieurs fois séculaires. Pour l'espèce humaine, la parole et le langage constituent véritablement une question existentielle qui a donné lieu à d'innombrables mythes, théories, dérives et même à des interdits.
- 2 La fin du XX^e et le tout début de ce siècle révèlent une véritable réarticulation des recherches dans le domaine de l'émergence de la parole et du langage (EPL par la suite). Libres de toutes contraintes religieuses, philosophiques ou institutionnelles, ces recherches naturalistes se caractérisent par leur approche multidisciplinaire, et impliquent des méthodes et des données très diversifiées.
- 3 En effet un grand nombre d'indices montrent que les travaux sur l'EPL connaissent un véritable développement, tout à la fois institutionnel et médiatique : des académies (*The New York Academy of Sciences*, *The California Academy of Sciences*) l'ont promu, des sociétés savantes ont été créées (*Association for the study of Language in Prehistory* avec sa revue *Mother Tongue*). EVOLANG, *l'International Conference on the Evolution of Language* en est à sa neuvième édition. Autres signes de cette évolution, un workshop intitulé *Language origins research : State of the art as of 1997*, s'est tenu dans le cadre du XVI^e Congrès International des Linguistes organisé par la *Société de Linguistique de Paris*, celle-là même qui, en 1866, avait inscrit dans ses statuts qu'elle n'admettait aucune communication sur l'origine du langage ; en 2004, l'un d'entre nous a présenté, dans une séance de cette *Société*, une communication sur *Lalangueunique et l'hypothèse de Ruhlen* (1994). Le Collège de France a invité Luigi Cavalli Sforza à donner des cours entre 1981 et 1990, en a publié un ouvrage dans ses travaux (*Gènes, peuples et langues*) et a organisé, en 2002, un Colloque international sur *l'Origine et évolution des langues : approches, modèles, paradigmes*.
- 4 Le CNRS et l'*European Science Foundation* ont soutenu les programmes OHLL (*Origine de l'Homme du Langage et des Langues*) et sa poursuite avec OMLL (*Origins of Man, Language and Languages*), le projet européen *Hand to Mouth* se poursuit (une partie d'entre nous ont fait partie de ces projets).
- 5 L'Université du Québec à Montréal a organisé (<http://www.summer10.isc.uqam.ca>) au cours de l'été 2010 un *Summer Institute in Cognitive Sciences* consacré à *l'Origine du langage*.
- 6 La conférence *Origins and evolution of language and speech* organisée sous l'égide de la *New York Academy of Sciences* en 1975 (Harnad *et al.*, 1976) illustre bien cette réarticulation qui abandonne la problématique de la localisation temporelle et spatiale de l'origine des langues

et la poursuite des recherches comparatistes. Les treize parties de ce congrès, qui étaient organisées en cadrages et discussions, ont précisé la cible du champ concernant la nature même du langage (présentée par Noam Chomsky) et celle des protolangues ; ont été fouillés les aspects cognitifs de la communication et tout le pan neurologique (la latéralisation, et ses pathologies, désordres de la mémoire, aphasie) avec les approches parallèles de l'intelligence artificielle ; la paléobiologie et la paléoanthropologie comparative avec les grands singes ont été placées aussi dans le champ cognitif et neural. L'essentiel des thèmes ont fait part égale entre le langage et la production-perception de la parole (anatomie, phylogénie et biomécanique du conduit vocal). Il s'agit, dans le domaine linguistique, du remplacement du programme culturaliste qui avait atteint son apogée avec le structuralisme par un nouveau départ du courant naturaliste, mais sur d'autres bases que celles du XIX^e siècle. On peut noter aussi que la parole figure en bonne place dans ce nouveau cadre, alors qu'elle avait été marginalisée, considérée comme une question bien secondaire, voire située en dehors du champ de la linguistique, comme il n'y a pas si longtemps encore (Milner, 1983 ; Hagège, 1985) par le structuralisme saussurien avec son dogme de la *primauté et de la supériorité du langage* sur la parole et par une phonologie, de Troutbetzkoy (1939) et Hjelmslev (1943) à Dell (1973) dont la détermination de la forme (code linguistique) ne s'est sentie en aucun cas liée par la substance (la parole) (Boë, 1997a, b).

7 Aujourd'hui, une revue de la bibliographie des travaux sur l'émergence de la parole et du langage révèle une grande quantité d'approches et de démarches méthodologiques très différentes. Dans les déclarations d'intentions et les prises de positions consensuelles (Hauser *et al.*, 2002 ; Christiansen et Kerby, 2003), on retrouve la nécessité du travail pluridisciplinaire (figure 1), nécessité que nous avons bien ressentie et tenté de l'appliquer.

Figure 1



La nature interdisciplinaire des recherches sur l'émergence de la parole et du langage : des données multiples, des protocoles et des méthodes d'investigation très différents. Il est donc nécessaire d'assurer une meilleure circulation scientifique entre ces domaines (modifié d'après Christiansen et Kerby, 2003)

Framework of the researches on speech and language emergence: data and methodology. To home in on a full understanding of language emergence, it is necessary to draw on a huge range of data and processing. Ultimately, it is necessary to break down the barriers between each of the disciplines

2 Enjeux et risques d'un dialogue pluridisciplinaire foisonnant : la contagion des idées scientifiques

2.1 La contagion des idées scientifiques

8 Les domaines pluridisciplinaires sont, par leur nature composite et par leurs traditions de développement, très perméables à des données, des théories ou même de simples hypothèses non corroborées qui ont été élaborées en dehors de leurs propres champs d'investigation,

surtout si elles viennent à l'appui de leurs propres théories (circularité des preuves). Comment circulent les idées et les théories développées dans tous ces champs ?

"Une idée née dans le cerveau d'un individu peut avoir, dans les cerveaux d'autres individus, des descendants qui lui ressemblent. Ces idées non seulement peuvent se transmettre, mais même en étant transmises à nouveau par ceux qui les reçoivent, elles peuvent, de proche en proche, se propager" (Sperber *La Contagion des idées*, 1996).

9 Dan Sperber (1996) propose ainsi une *épidémiologie des représentations*. Il en considère deux catégories. Les premières sont des *représentations mentales privées* : les croyances, les intentions, les préférences, etc. La seconde catégorie est celle des *représentations publiques*, beaucoup moins nombreuses : ce sont les images, les signaux, les textes qui sont transformés par le communicateur puis commués par le destinataire en représentations privées. Les idées se transmettent et se transforment en passant d'un individu à un autre : "non pas de façon aléatoire, mais en direction de contenus qui demandent un effort mental moindre et qui entraînent des effets cognitifs plus grands". C'est la tendance à optimiser le rapport effort/effet (Sperber et Wilson, 1986).

10 C'est ce qui explique, à notre avis, pourquoi certains canulars scientifiques (voire fraudes) fonctionnent si bien : ils peuvent avoir des succès retentissants et durables tant ils ont été conçus pour correspondre aux préjugés culturels, pouvoir être acceptés facilement et propagés rapidement. C'est ainsi qu'en 1912, le crâne de l'*Homme de Piltdown* tombait à point nommé en Grande-Bretagne qui était dépourvue de fossiles, il apportait la preuve du *chaînon manquant*, entre le singe et l'Homme, prévu par Darwin (1859) et de plus ce crâne devait contenir un cerveau volumineux, preuve d'intelligence ce qui étayait la théorie de la suprématie de la race blanche (Gould, 1980, 1982 ; Thomas, 2002). Il a fallu attendre 40 ans pour que les sommités scientifiques britanniques et les responsables du *British Museum* reconnaissent que l'*Eoanthropus Dawsoni*, (du nom de son inventeur, Charles Dawson), n'était qu'une supercherie, un habile montage d'os à partir d'un crâne remontant tout au plus au Moyen Âge et d'une mandibule d'un jeune et récent orang-outan provenant de l'île de Bornéo.

11 Concernant l'émergence de la parole, nos travaux ont permis de vérifier (Boë, 2001) l'hypothèse selon laquelle certaines théories, très fragiles, mais très intuitives, c'est-à-dire à bon rapport effet/effort, ont pu pénétrer le module des représentations mentales privées, en quelque sorte le parasiter et alimenter par transmission les représentations publiques.

12 Ainsi continuent à se propager avec beaucoup de succès :

13 - l'affirmation selon laquelle un petit os, l'os hyoïde, serait un facteur clé de l'origine de la parole, alors que tous les mammifères en possèdent un. L'existence de l'os hyoïde n'est pas un élément pertinent dans la discussion de l'émergence de la parole. Avancer que l'os hyoïde est indispensable à l'élocution n'est pas plus pertinent que d'affirmer que la première vertèbre cervicale est indispensable à la station verticale puisque la grande majorité des mammifères est dotée de cette vertèbre bien que n'ayant pas tous acquis la station verticale et la marche bipède ;

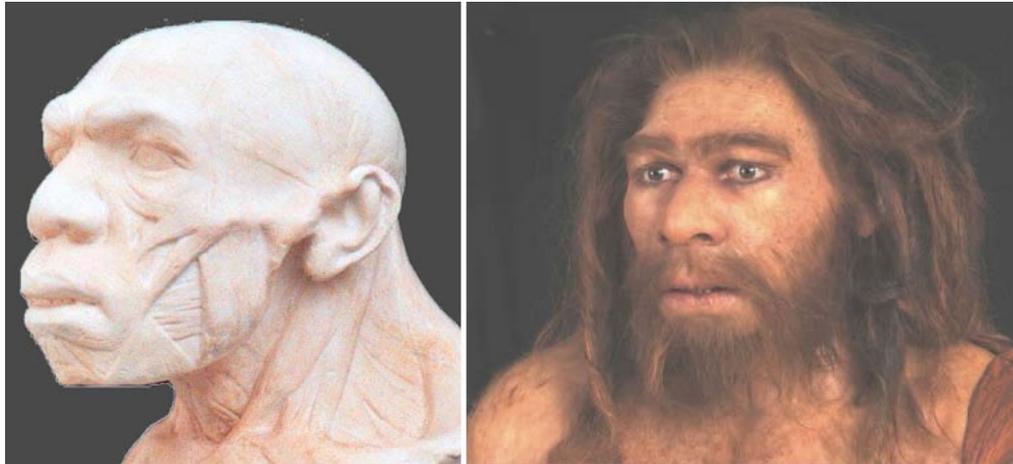
14 - la théorie de la *descente du larynx* proposée par Lieberman a pour but d'expliquer globalement et très simplement pourquoi les grands singes ne parlent pas, pourquoi Neandertal ne pouvait articuler que très lentement quelques voyelles peu différenciées et pourquoi le bébé ne génère pas de système vocalique bien formé dans ses premiers mois. Par sa généralité et sa simplicité cette théorie est un véritable cas d'école pour la *contagion des idées* : nous avons montré (Heim *et al.*, 2002 ; Boë *et al.*, 2002) que la comparaison de Neandertal avec l'Homme actuel permet d'avancer qu'en fait il n'y a eu aucune *descente du larynx*. Notre proche cousin n'était vraisemblablement pas handicapé du conduit vocal. Nous y reviendrons en détail pour montrer que, depuis que nos ancêtres ont acquis la station verticale, c'est-à-dire depuis plusieurs millions d'années, *il n'y a pas eu de descente du larynx au cours de la phylogenèse*.

2.2 La circularité des preuves

15 Pour établir sa théorie selon laquelle les Hommes de Neandertal ne pouvaient pas produire les voyelles cardinales des langues humaines /i a u/, Lieberman et Crelin ont choisi, en 1971, le crâne de l'Homme de la Chapelle-aux-Saints. Ce crâne, retrouvé en plusieurs morceaux, avait

été reconstruit, en 1913, par Marcellin Boule (1913) qui considérait que les Néandertaliens étaient plus proches des grands singes que de l'Homme (figure 2), ce qui était le préjugé de l'époque. Par la suite il a été montré que la reconstitution effectuée par Boule était biaisée (Heim, 1986, 1989). Nous avons montré dans nos travaux que le conduit vocal de Neandertal était très proche de *Sapiens*, ce qui est admis de plus en plus actuellement (Patou-Mathis, 2006). Mais Lieberman (1984, 2007) n'en a pas tenu compte. Ce n'est que très récemment qu'il a, placé l'os hyoïde et le larynx de Neandertal de manière à peu près plausible, (Lieberman et McCarthy, 2007).

Figure 2



Neandertal tel que Marcellin Boule le représentait au début des années 1900 quand il reconstruisait le crâne de l'Homme de la Chapelle-aux-Saints (photo LJ Boë) et une nouvelle reconstitution par Elisabeth Daynès (2009) en collaboration étroite avec les anthropologues spécialistes de Neandertal. (© 2009 Photo E. Daynès Reconstruction Atelier Daynès, Paris)

Reconstruction by Marcellin Boule of the Neanderthal's head (Homme de la Chapelle-aux-Saints) at the beginning of the XXth century and a new reconstruction by par Elisabeth Daynès (2009) in tight collaboration with specialists of anthropology

2.3 Des présupposés extrascientifiques

16 Comme nous l'avons indiqué l'EPL est bien un domaine avec un arrière plan de croyances. Ainsi l'Homme de Neandertal, considéré comme une espèce différente d'*Homo sapiens*, est au centre de vives controverses qui débordent du cadre purement scientifique. "La préhistoire est-elle toujours une science ?" s'interroge Sophie de Beaune :

"Savoir si oui ou non l'homme de Neandertal a utilisé les capacités langagières dont il disposait est une question qui sort des limites des sciences exactes. Les opinions se divisent sur cette question et les hypothèses font intervenir des présupposés d'ordre extrascientifique. On est là encore dans un domaine très subjectif où des arguments de l'ordre de la croyance s'opposent [...] lorsqu'il s'agit de le défendre et de le réhabiliter. Dans un cas comme dans l'autre, on sent que les chercheurs ne défendent pas seulement une théorie scientifique" (De Beaune, 2007).

3 Épistémologie structurante : le cadre push-pull

3.1 Les approches pull et push

- 17 L'émergence de la parole et du langage est le résultat d'une conjonction remarquable entre :
- 18 - l'existence d'un système auditif très sophistiqué et d'organes destinés à respirer, sucer, mastiquer et déglutir ;
- 19 - l'utilisation (dans ce cas d'exaptation, un organe non modifié est réutilisé à l'identique pour une fonction manifestement non sélectionnée à l'origine : Gould, Vrba, 1982) et la spécialisation de ces organes comme instrument vocal capable de produire, en coordination avec la respiration, des signaux sonores complexes (ces organes gardant intégralement leurs fonctions premières) ;
- 20 - l'émergence de capacités cognitives qui ont permis à l'espèce humaine :
- de pouvoir apprendre à contrôler finement l'instrument vocal (phonation + articulation) ;
 - de disposer d'un système de double compositionnalité (double articulation), le langage, lui permettant, à partir de seulement quelques dizaines de sons, de générer plusieurs

dizaines de milliers de mots et de pouvoir les composer en une infinité de phrases (générativité, créativité) ;

- d'associer arbitrairement du sens à chacun des éléments ainsi produits, le tout grâce à un système linguistique, la langue, partagé par un ensemble de locuteurs et d'auditeurs.

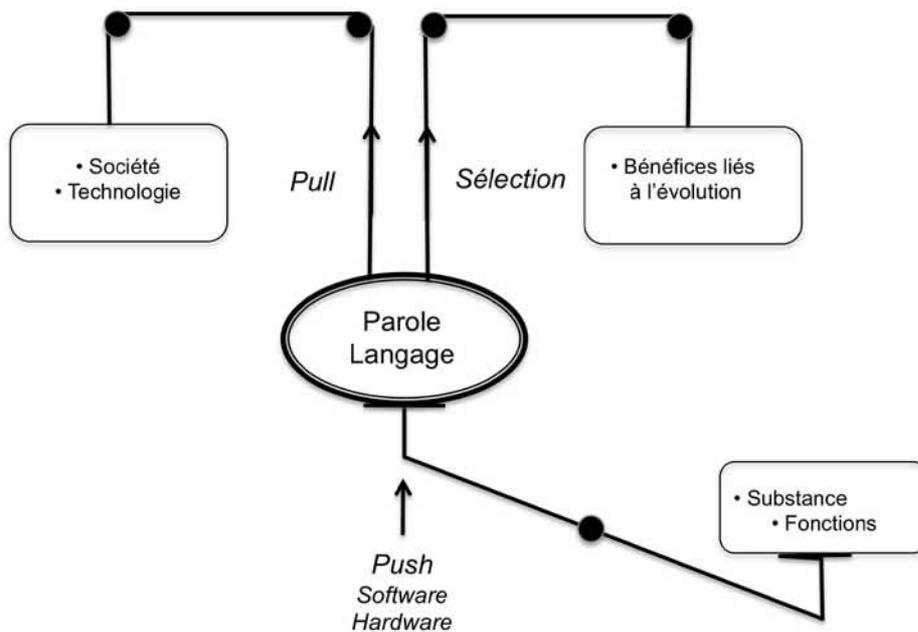
21 L'apprentissage de la parole nécessite une référence, une recopie, un mimétisme mais qui sont en fait limités, car le caractère génératif inhérent au langage permet à l'enfant de produire de nouvelles combinaisons et des généralisations.

22 La *récurtivité* qui serait le propre du langage humain (Chomsky, 1980), offre au langage de très grandes possibilités de production. La coexistence de capacités performantes d'apprentissage et de production-perception du son d'une part et d'autre part de capacités cognitives symboliques n'a sûrement pas suffi pour que l'Homme se mette à parler. Ces deux faisceaux de potentialités n'ont pas pu être, à eux seuls, à l'origine de ce bond cognitif. On peut faire l'hypothèse que ce sont des motivations, des objectifs sous contrainte qui ont permis à l'Homme de tirer profit de cette conjoncture, fruit de l'évolution.

23 La question posée est celle de la possibilité de l'émergence de la parole et du langage à partir d'un état initial dans lequel le langage est absent. En laissant de côté la question sous-jacente de l'époque de cette émergence dans la phylogénèse, nous proposons une possible ligne de partage entre les approches que Jean-Luc Schwartz (2010) appelle *pull* et *push* dans une dichotomie entre *fonction* et *substrat*.

24 La figure 3 présente de façon très schématisée les interactions qui ont peut-être conduit à l'émergence de la parole et du langage.

Figure 3



L'émergence de la parole est poussée par des mécanismes et ingrédients préalables et tirée par des motivations de coopérations sociales et techniques tout en acquérant des bénéfices évolutifs
Speech emergence pushed by different mechanisms and pulled by social and technical motivations associated with evolutionary benefits

25 Cette classification possible s'appuie sur un modèle *darwinien*, dans lequel si émergence il y a, celle-ci suppose à la fois un état préalable, un processus de génération de variétés génétiques, un processus de sélection et un processus de reproduction. Dans ce contexte, les approches que nous nommons *pull* sont celles qui mettent l'accent sur le contenu fonctionnel de ce processus de sélection : quelles en sont les *meilleures variétés* ? Cette question en appelle une autre, plus générale : à quoi sert le langage et pourquoi cette spécialisation secondaire évoluée (*apomorphique*) a-t-elle été retenue par la sélection évolutive ? Les approches *pull* sont donc celles qui visent à tirer le langage d'un objectif fonctionnel majeur, qu'il s'agit de déterminer.

26 Les approches que nous appelons *push* sont centrées sur l'état préalable pour lequel il faut déterminer, du mieux possible, les propriétés principales : mais *avant* le langage, qu'y a-t-il ?

Plus précisément, de quel pré-langage disposaient les primates non humains, ce qui pourrait fournir des éléments essentiels précurseurs au langage ? Les approches *push* se centrent donc sur les continuités du langage avec des fonctions, mécanismes et ingrédients préalables, plutôt que sur la discontinuité évolutionniste majeure qu'est l'apparition du langage. Elles se demandent ce qui peut avoir *poussé* des primates supérieurs (hominidés) vers l'émergence de la parole et du langage. Elles évitent la question, pourtant essentielle, d'un possible processus de sélection, pour mieux relier le langage à d'éventuelles formes antérieures (proto langage).

3.2 Les motivations et les hypothèses pull

- 27 Certaines de ces motivations avaient été proposées au XIX^e et même bien avant. Elles s'inscrivent, pour l'essentiel, dans le cadre darwinien : les passions considérées dans les siècles précédents comme moteurs de la parole sont devenues des besoins, des fonctions multiples à avantages adaptatifs :
- 28 - l'extension, la structuration et le maintien des relations sociales pour augmenter les chances de survie (moyens de coopération, nouement des alliances, organisation politique, prestige, resserrement des liens...) non seulement pour de petits groupes, mais aussi pour de larges populations ;
- 29 - le choix des partenaires sexuels (augmentation de la capacité de persuasion et de séduction) ;
- 30 - la possibilité de transmettre des informations (mémoire) et de mieux éduquer les enfants ;
- 31 - la pratique de la chasse (un langage gestuel est moins bien adapté avec les armes en main) ;
- 32 - la motivation technique nécessitant un apprentissage complexe et une planification de la chaîne opératoire : pour la fabrication des outils (la trousse à outil se révèle bien variée : billots, enclumes, meules, polissoirs, galets percuteurs, couteaux etc.) leur diversification et leur fonction sémiotique et socio-culturelle: transport des matériaux, ateliers de débitage, microlithes, outils à os, lames, aiguilles (que l'on peut étudier par l'archéologie expérimentale ; la transmission des techniques de débitage et leur diffusion dans tout l'ancien monde ; la construction de sites complexes ;
- 33 - la possibilité de pouvoir "disposer de la capacité de tout un chacun de se représenter les états mentaux d'autrui".
- 34 Toutes ces motivations peuvent être regroupées sous le vocable de coopération sociale et technique, de transmission de représentations mentales (Ambrose, 2001 ; Bickerton, 2003 ; Dunbar, 1993, 1996 ; Gärdenfors, 2003 ; Harnad *et al.*, 1976 ; Hockett et Ascher, 1964 ; Johansson, 2005 ; Jablonski et Aiello, 1978 ; King 1996 ; Landau, 1991 ; Leroi-Gourhan, 1964 ; Lock et Peters, 1999 ; Montagu, 1976 ; Orrigi, 2001 ; Premack, 2004 ; Schepartz, 1993 ; Schick et Toth, 1993 ; Sperber, 2000 ; Sperber et Origgi, 2005 ; Stoczkowski, 2001 ; Tomasello, 1999 ; Tomasello *et al.*, 2005 ; White, 1999 ; Wildgen, 2004 ; Wynn, 1999).
- 35 En fait, bon nombre d'arguments qui plaident en faveur de l'émergence de la parole peuvent être contredits en partie : certains mammifères chassent en groupe efficacement, élèvent leur progéniture, certes pendant un temps très court, utilisent des outils, certes rudimentaires et ils ne les conservent pas, coopèrent, arrivent bien à se reproduire et possèdent une bonne représentation des alliés, des concurrents et des prédateurs.
- 36 On peut se demander avec Rastier (2006) si, dans certains cas, il ne s'agit pas de *petits romans anthropologiques*, par ailleurs très prisés par les médias : le langage permettrait ainsi aux chasseurs de s'assurer de la fidélité de leurs femmes en leur absence (Coon, 1962), servirait à raconter des histoires (*l'Homo inventans*, McNeil, 1996) pour assurer, par exemple, la paix dans des tribus dominées par des mâles belliqueux (*l'Homo narrans*, Victorri, 1999, 2005), ou encore serait utilisé pour dire du mal des absents tout en resserrant les liens du groupe (*grooming and gossip hypothesis*, Dunbar, 1996), pour influencer sur le comportement des congénères et s'assurer un prestige social en communiquant, par exemple, des informations *a priori* improbables, ou pour faire de la politique (Dessales, 2001 ; Dessales *et al.*, 2006). Il est vrai que dans l'état des connaissances ces propositions ne peuvent être ni corroborées ni infirmées, mais tout au plus jugées sur leur logique et plausibilité. Si l'on se situe dans une démarche scientifique poppérienne pour laquelle "le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester" (Popper, 1985), on peut peut-être s'interroger sur leur pertinence. Ainsi, un objectif majeur des recherches à

venir sera de développer des travaux permettant d'obtenir des éléments de preuve, directe ou indirecte, *en faveur ou en défaveur* de ces différents scénarios ou de nouveaux scénarios à élaborer.

3.3 Les théories push : substrat et fonction

- 37 Venons-en maintenant à ce que nous avons appelé les théories *push*, c'est-à-dire celles qui s'attachent à la recherche de l'état préalable à l'émergence de la parole. L'objectif est de spécifier, le plus précisément possible, les continuités entre l'animal (et bien évidemment, particulièrement le primate non humain) et l'homme, en poussant le plus loin possible la recherche de ce que l'on peut supposer être des prérequis, dont on cherche la présence ou l'absence chez nos prédécesseurs dans l'évolution. On peut à ce niveau, en considérant la littérature foisonnante des 50 dernières années, proposer une seconde dichotomie, entre prérequis des *fonctions* cognitives et prérequis des *substrats* (équipement génétique, appareil d'audition et de production de la parole) et soit de façon très imagée, entre ce que les informaticiens désignent sous les vocables bien connus de *software* et *hardware*.

3.4 Push hardware : le gène FOXP2

- 38 Les troubles spécifiques du développement du langage font partie des dossiers qui alimentent les recherches et les controverses sur la faculté spécifique du langage, sa possible dissociation avec les autres capacités cognitives et son innéité. La découverte du gène FOXP2 (FOXP2, pour *forkhead box P2*, chromosome 7). La caractéristique commune des protéines FOX est la *forkhead box*, petite chaîne de 80 à 100 acides aminés formant un motif qui se lie à l'ADN élément capital qui permet aux protéines FOX de réguler l'expression de gènes cibles. FOXP2 est un acteur de transcription qui pourrait réguler le développement ou le fonctionnement de circuits distribués dans diverses régions du cerveau, incluant le cortex, le striatum, le thalamus et le cervelet. À la suite d'une première publication concernant des troubles du langage sur trois générations d'une même famille anglaise (KE), est évoquée la relation entre un gène et le type de dysphasie observée (Gopnik, 1990). Cinq ans plus tard sont associés, pour la première fois, la mutation du gène FOXP2 et des troubles de l'apprentissage de la morpho-syntaxe de la famille KE, 30 personnes, portant sur 15 membres étalés sur 3 générations. Chez la famille KE, c'est le domaine liant l'ADN du FOXP2 qui a muté chez les sujets atteints de troubles de la parole et du langage (Marcus et Fisher, 2003). Par la suite, les études approfondies de Faraneh Vargha-Khadem et al. (1995, 2005) et de son équipe ont mis l'accent sur l'aspect dysarthrique du déficit : les troubles de la famille KE ne se limitent pas à des déficits de langage. Les sujets atteints éprouvent de graves difficultés à contrôler des mouvements coordonnés et complexes (dyspraxie buccofaciale de la mandibule et de la lèvre supérieure) provoquant aussi une production de parole altérée. En fait, l'apprentissage vocal (le processus phonatoire), qui constitue une composante de la production de la parole, se retrouve aussi chez des espèces animales, d'où l'idée d'identifier FOXP2 chez des oiseaux chanteurs qui sont capables de modifier des vocalisations innées pour en créer de nouvelles. Le diamant mandarin est un oiseau qui génère à l'âge adulte pratiquement toujours le même chant. Il a été montré que, chez les jeunes mâles, l'expression de FOXP2 augmente significativement pendant la période d'apprentissage vocal dans une aire appartenant au circuit cérébral impliqué dans l'apprentissage du chant (Haesler *et al.*, 2004, 2007). Si l'on diminue expérimentalement le niveau d'expression de FOXP2, on observe chez les oiseaux traités une diminution de la capacité d'imitation, une moindre capacité à enchaîner des sons et un chant instable à l'âge adulte. Ce qui confirme son influence au niveau de l'apprentissage et de la production des sons (Haesler *et al.*, 2007).
- 39 Il semblerait que FOXP2 soit un gène qui a très peu muté au cours de l'évolution (Enard *et al.*, 2002) : depuis 75 millions d'années, date estimée de la séparation de la souris avec la lignée des Primates donc des singes (rhésus, orang-outan, chimpanzé) et de l'homme, seulement deux mutations non-silencieuses (c'est-à-dire qui entraînent une modification d'un acide aminé) se sont produites. L'hypothèse la plus probable serait que, outre le rôle de FOXP2 dans le développement embryonnaire de circuits cérébraux sous-jacents au

langage, ce gène soit également impliqué à un stade plus tardif dans les aptitudes sensori-motrices. Il reste notamment à préciser si FOXP2 est important pour la production motrice ou pour l'apprentissage moteur et dans quelle mesure ces déficits de production peuvent se répercuter sur l'apprentissage du langage lui-même. Le débat s'est donc repositionné : il n'est plus question du *gène de la grammaire*, mais les chercheurs disposent maintenant d'un point d'entrée sur la compréhension des mécanismes neuromoléculaires qui influencent l'acquisition du langage et de la parole et d'autres gènes influençant le langage seront peut-être découverts (Fisher et Marcus, 2006).

3.5 Push software : prérequis des fonctions cognitives

- 40 Avec le volet *push software*, nous abordons là le thème très riche de l'environnement cognitif susceptible d'avoir joué un rôle dans l'apparition du langage, soit parce qu'il en aurait fourni les conditions minimales et donc les prémisses en quelque sorte, soit parce qu'il constituerait un système de contraintes ayant jusqu'à un certain point façonné les formes du langage humain. Tout naturellement s'est donc posée la question de savoir si cet environnement cognitif est partagé par les animaux (et particulièrement les Primates) et *Homo sapiens*. Sans aborder dans le détail les hypothèses et les travaux, très nombreux, qui ont enrichi la littérature dans les 20 dernières années, mentionnons quelques lignes de force.
- 41 D'abord, pour parler il faut entendre : le système auditif humain est très sophistiqué, mais ne l'est pas plus que les systèmes auditifs d'un très large ensemble d'espèces mammifères ; les continuités sont ici de toute évidence la règle et non l'exception. Les capacités d'intégration multisensorielle (Ghazanfar *et al.*, 2005) et de catégorisation perceptive (Kuhl et Miller, 1975 ; Kluender *et al.*, 1987) ne semblent pas plus discriminantes.
- 42 Il faut ensuite produire des sons avec le conduit vocal et si l'hypothèse d'une spécificité humaine a fait son chemin, elle est selon nous obsolète.
- 43 C'est donc du côté de capacités cognitives intégratives plus complexes que se sont tournés les chercheurs, notamment dans deux directions. D'abord, la parole et le langage supposent résolus des problèmes complexes d'appariement entre action et perception, pour la compréhension des actions de l'autre, comme pour l'acquisition et l'apprentissage du contrôle d'actions complexes. Les neurones miroir ont été proposés, depuis Rizzolatti et Arbib (1998), comme le système neuronal par excellence permettant de relier dans le cerveau perception et action, de fournir ainsi un noyau crucial dans l'évolution vers le langage. Les neurones miroir, répondant dans le cerveau du singe à la fois lors de la production et de la perception de gestes de la main et des mimiques de la face, ont été par la suite considérés par Arbib (2005) comme le pivot d'une séquence phylogénétique ayant conduit à des capacités d'imitation, d'apprentissage de séquences simples puis complexes, étape initiale vers l'apparition de systèmes de communication sophistiqués, jusqu'à la bascule vers des protolangages alliant indépendance de la substance et de la forme et séquentialité des actions, constituants intrinsèques de la spécificité du langage humain.
- 44 Ensuite (et en lien étroit avec l'*item* précédent) c'est du côté des capacités communicatives qu'on peut se tourner. Les recherches sur ces capacités pour les espèces animales sont bien entendu légion. En relation avec l'apparition du langage, les enjeux principaux sont ceux de la sophistication des systèmes de communication animale chez les Primates, et notamment de la question de la primauté de la main ou de la voix. Les gestes communicatifs sont attestés chez de nombreuses espèces de singes : gestes de menace (Meguerditchian et Vauclair, 2006), gestes de désignation ou de *pointage* (Hopkins et Leavens, 1998 ; Leavens, 2004) ; mais certaines espèces de singes semblent également disposer de systèmes de communication vocale, notamment à travers les cris d'alerte des singes vervets (Cheney et Seyfarth, 1990), distinguant trois types de prédateurs, l'aigle qui vient du ciel, le léopard qui accourt et le serpent caché dans le sol. Un débat s'est instauré entre primatologues pour estimer lequel de ces deux systèmes de communication, gestuelle et/ou orale, fournirait le précurseur le plus plausible au langage humain. La communication gestuelle semble dotée de bonnes propriétés de contrôle intentionnel et de spécialisation fonctionnelle (*flexibilité*) qui en font par excellence un système de communication sociale puissant (Corballis, 2003). D'autre part, ce système

est naturellement prédisposé à contenir des capacités référentielles, puisqu'un geste peut renvoyer par ses propriétés intrinsèques à des éléments du monde extérieur (*iconicité*). Le pointage en fournit un point de départ évident, permettant au singe d'orienter l'attention vers l'objet désigné (Leavens, 2004). Mais la communication vocale n'est pas sans argument. Contrairement aux visions initiales, elle n'est pas totalement dépendante d'un système de contrôle émotionnel déclenchant des comportements réflexes. Elle apparaît au contraire de plus en plus comme complexe, flexible et tactique, c'est-à-dire contrôlée, jusqu'à un certain point, en fonction de l'objectif de communication (Slocombe et Zuberbühler, 2005 ; Arnold et Zuberbühler, 2006 ; Lemasson et Barbu, 2011). Elle fournit une continuité de moyens avec la parole, qui ont conduit à la théorie *Frame-Content* de MacNeilage (1998) proposant que le système de mastication ait pu fournir un système précurseur naturellement adapté pour la modulation des vocalisations et, partant, la génération de séquences de type consonne-voyelle qui pourraient être le point de départ de la naissance de la syllabe et plus largement de la phonologie. Une synthèse de cette approche est développée autour de la théorie *Vocalize to Localize* (Abry *et al.*, 2004, 2009).

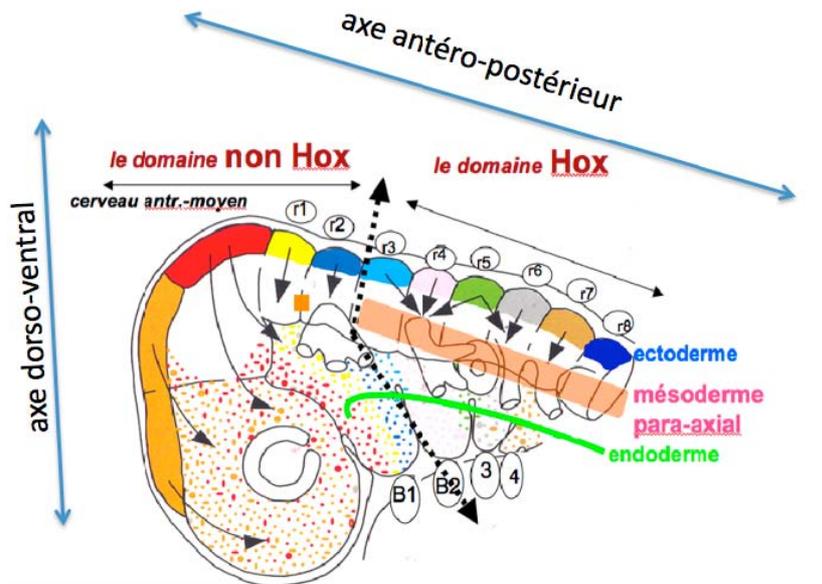
45 Enfin, au-delà de fonctions de communication sociale telles que celles que nous venons d'aborder, il est possible de se demander si ce n'est pas dans un niveau de communication plus profond que le langage a été puiser ses racines. Les recherches sur *la théorie de l'esprit*, la capacité des humains à se projeter dans le cerveau de l'autre pour chercher systématiquement à y déchiffrer des intentions, ont conduit à questionner l'existence de ce type de mécanismes dans le cerveau des singes (Premack & Woodruff, 1978), et plus globalement à évaluer les différences entre les capacités d'interaction sociale entre primates non humains et *Homo sapiens* (Orrigi, 2001 ; Sperber et Orrigi, 2005). Dans un article récent, Tomasello *et al.* (2005) font l'hypothèse que la différence cruciale réside dans l'intentionnalité partagée, c'est-à-dire dans la capacité non seulement à pouvoir lire dans le cerveau du partenaire, mais également à connaître la valeur d'une action partagée et donc à partager des états mentaux, étape cruciale vers l'émergence et l'évolution de mécanismes de cognition culturelle sophistiqués, dont le langage ferait partie.

4 Hardware génétique : les gènes HOX

46 Dans l'ontogenèse de l'embryon humain, il existe une organisation pour la mise en place des différents tissus qui le constituent. La découverte des gènes HOX et non HOX, en 1978, chez la mouche drosophile, puis chez tous les mammifères indique bien que ces gènes *architectes* étaient présents depuis longtemps au cours de l'évolution. À partir des 15-20 premiers jours qui suivent la fécondation (Couly *et al.*, 1993 ; Couly *et al.*, 1998), ces gènes sont responsables de la construction embryonnaire (figure 4) et déterminent l'identité des segments embryonnaires organiser dans le sens crâniocaudal et dorso-ventral de l'embryon, la mise en place de la base du crâne, de la tête et du corps. Ces gènes interviennent donc pour la croissance osseuse de la tête et du cou, charpente du conduit vocal.

47 La synthèse de ce développement (Benoît, 2001, 2008) nous permet de disposer des grandes lignes de l'ossification de la tête, de l'os hyoïde, et du cou. Les gènes non HOX (répartis dans les 46 chromosomes) sont responsables de la mise en place des éléments nécessaires à l'ossification membraneuse de la partie antérieure et supérieure de la tête et du premier arc pharyngien (maxillaire et mandibule). Les gènes HOX (répartis dans 4 chromosomes) sont eux responsables de l'ossification enchondrale de la partie postérieure du crâne (l'occipital), de la base du crâne, de l'os hyoïde, colonne vertébrale cervicale (les vertèbres C1 à C7) et du reste du squelette post crânien. Les études en anatomie comparée avaient souligné depuis longtemps la stabilité colonne vertébrale cervicale. Dans son *Traité des variations de la colonne vertébrale de l'Homme*, Anatole-Félix Le Double, souligne, en 1912, dans une vision anthropologique globale: "De toutes les régions colonne vertébrale, la région cervicale est celle où le nombre de vertèbres est le plus fixe chez les animaux appartenant à la classe des *Mammifères*. À part quelques exceptions [...] elle comprend toujours 7 vertèbres [...] ce qui explique déjà son peu de variabilité dans l'espèce humaine".

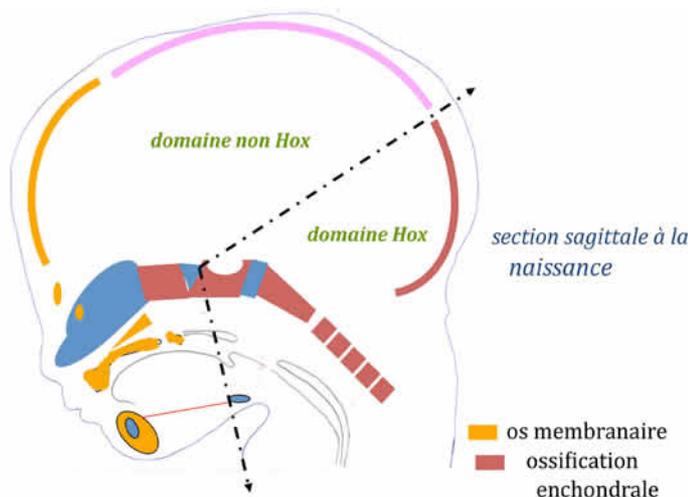
Figure 4



L'expression des zones des gènes HOX non HOX. Représentation schématique de la migration et de la destination des cellules des crêtes neurales. Représentation schématique d'après Charrier et Creuzet, 2007)
Genetic signalization: Expression zones of HOX and noHOX genes. Schematic representation of the migration and destination of the neural crest cells (interpreted from Charrier and Creuzet, 2007)

48 Afin de visualiser les territoires de l'expression des gènes du développement nous avons tracé une limite passant dans le plan sagittal médian par le point *lambda* (point d'intersection entre la suture sagittale et les sutures lambdoïdes), la crête synostotique antérieure du sphénoïde, et la limite entre le corps de l'os hyoïde et les grandes cornes (figure 5).

Figure 5



Les zones d'influence des gènes HOX et non HOX sur les structures osseuses de la tête et du cou (d'après Benoît, 2001; 2008)
HOX and noHOX genetic signalization for the bony structures (from Benoît, 2001; 2008)

5 Hardware anatomique

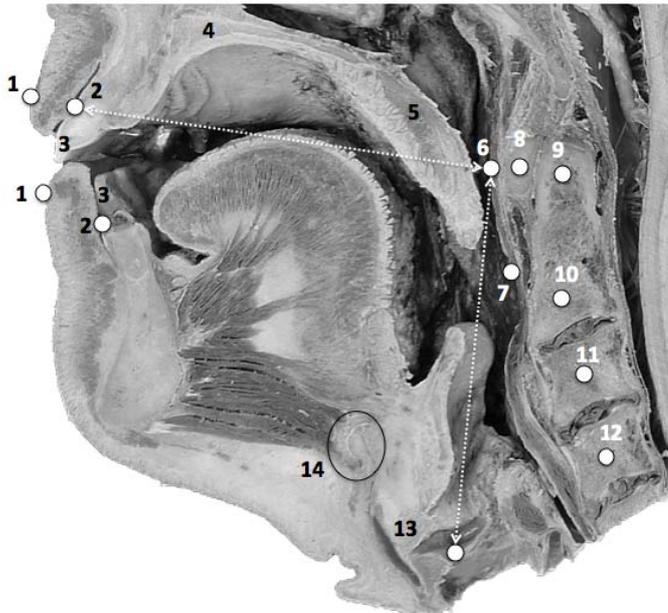
5.1 Le conduit vocal

49 Pour parler, il faut disposer, pour le moins, d'un système phonatoire qui génère une source sonore grâce à la vibration des cordes vocales (situées dans le larynx) et d'un conduit vocal qui modifie les caractéristiques de cette source pour produire une succession de sons. Est ainsi généré un continuum sonore dans lequel il est possible d'identifier une suite de syllabes constituées de voyelles et de consonnes.

50 Le conduit vocal peut être considéré comme un tube qui s'étend des cordes vocales aux lèvres, avec une bifurcation possible par les fosses nasales, branchées par l'abaissement du voile mou (figure 6). Ce tractus est, pour l'essentiel, limité par des parties molles (lèvres, langue, paroi pharyngale) dont la configuration dépend de la morphologie crânienne et de la position de la colonne vertébrale par rapport à celle-ci. Le contrôle de ce conduit consiste pour l'essentiel à gérer sa configuration par le jeu des articulateurs (mandibule, langue, voile mou, lèvres), notamment l'ouverture aux lèvres, et la position et la dimension d'une zone de rétrécissement ou d'occlusion qui peut se déplacer du pharynx à la zone dento-alvéolaire

51 Nous appelons *longueur de la cavité orale* (LCO), la distance prosthion-point pharyngal, et *hauteur du pharynx* (HP), la distance point pharyngal à la glotte. Le rapport HP/LCO est l'index de hauteur pharyngale (IHP).

Figure 6



Coupe anatomique du conduit vocal d'un homme, des lèvres à la glotte (G. Captier, laboratoire d'anatomie de Montpellier): (1) l'extrémité du pavillon labial, (2) le prosthion et l'infradental, (3) les incisives, (4) le palais dur, (5) le voile mou, (6) le point pharyngal qui correspond à la zone de contact du voile mou lorsqu'il est relevé, (7) la paroi pharyngale, (8) le tubercule antérieur de C1, (9) l'odontoïde, (10) C2, (11) C3, (12) C4, (13) la glotte au dessous des bandes ventriculaires, (14) le corps de l'os hyoïde. La distance 2-6 correspond à la longueur de la cavité orale (LCO) et la distance 6-13 à la hauteur pharyngale (HP)

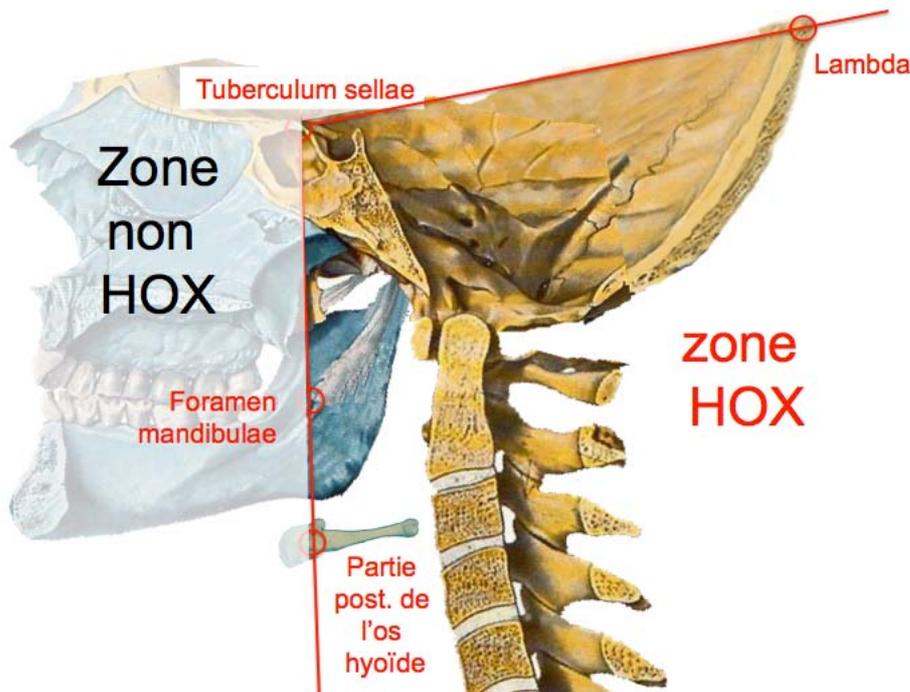
Anatomical view of the a male vocal tract from lips to glottis (G. Captier, laboratoire d'anatomie de Montpellier) : (1) extremity of the lip horn, (2) prosthion and infradental, (3) incisors, (4) hard palate, (5) soft palate, (6) pharyngeal landmark at the level of the contact between velum and the pharyngeal wall, (7) pharyngeal wall, (8) anterior part of C1, (9) odontoid, (10) C2, (11) C3, (12) C4, (13) glottis (14) hyoid bone body. The 2-6 distance corresponds to the length of the oral cavity of the vocal tract and the 6-13 distance to the pharyngeal height (HP)

5.2 L'os hyoïde

52 Pour les sujets masculins, l'os hyoïde se situe au niveau de C3-C4 et la glotte de C5-C6 (une vertèbre au dessus pour un sujet féminin) (cf. figure 6).

53 La droite qui relie le tuberculum sellae (tubercule pituitaire de la selle turcique) à la partie postérieure du corps de l'os hyoïde passe par la projection du foramen mandibulae (la mandibule dépend des gènes nonHOX), propriété qui permet de positionner l'os hyoïde (figure 7).

Figure 7



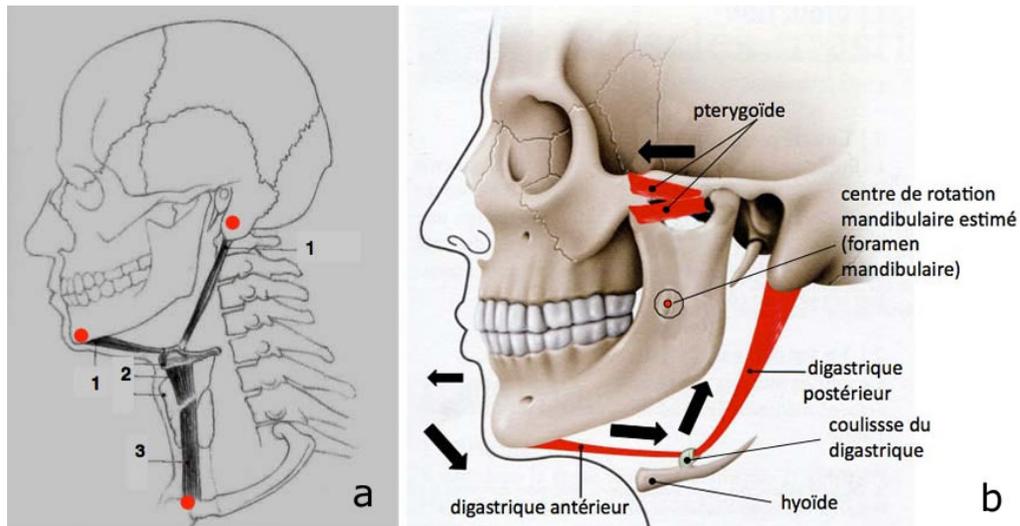
Le positionnement de l'os hyoïde
 Hyoid position (cf. Benoit et al., 2001, 2008)

- 54 L'os hyoïde est un élément très fragile du squelette. Il disparaît très vite lors de la fossilisation à cause de sa petite taille et de son absence de connexion avec les autres os. Seulement quelques spécimens ont été mis au jour pour :
- 55 - deux néandertaliens : à Kébara, Mont Carmel en Israël (60 ka) et un autre, dans le site d'El Sidron en Espagne (43 ka), tous deux très peu différents de ceux d'hommes actuels (Arensburg, 1991 ; Arensburg *et al.*, 1989 ; Rodriguez *et al.*, 2003) ;
- 56 - plusieurs pré-néandertaliens, dans le site la Sima de los Huesos, en Espagne (au moins 530 ka), présentant des caractéristiques d'homme moderne (Martinez, 2008) ;
- 57 - un Australopithecus afarensis, dans le site de Dikika en Éthiopie (3,3 Ma), pour Selam un enfant de 3 ans ; cet os ressemble plutôt à celui d'un chimpanzé qu'à celui d'un humain (Alemseged *et al.*, 2006).
- 58 Nous l'avons vu, les dispositions anatomiques de la base du crâne, de la colonne vertébrale cervicale, de l'os hyoïde et donc du larynx sont contrôlées par l'expression des gènes HOX. Depuis le passage à la station verticale cette morphologie a vraisemblablement peu changé (Granat *et al.*, 2006).

5.3 La variation de la position de l'os hyoïde avec l'abaissement de la mandibule

- 59 Sur le plan musculaire l'os hyoïde est inséré au centre d'un réseau en étoile constitué par les muscles supra- et infra-hyoïdiens (figure 8a). Ce réseau a pour but de stabiliser la position du larynx et de la langue et de permettre l'abaissement de la mandibule. Son intrication dans le complexe musculaire a pour conséquence de faire de cet os un intervenant indirect dans la respiration, la mastication, la déglutition, le maintien de la posture de la tête et du cou, et dans la production de la parole. En fait, au cours de la production de la parole, l'os hyoïde se déplace verticalement et horizontalement de près ± 7 mm. Cette latitude de presque un centimètre et demi montre bien qu'il n'est pas crucial positionner l'os hyoïde d'un fossile à quelques millimètres près (Boë et al ; 2007). Ces mouvements sont dus pour l'essentiel à ceux de la langue, de la mandibule (Hoole et Kroos, 1998 ; Beautemps *et al.*, 2001). L'abaissement de la mandibule est réalisé grâce à une contraction des muscles ptérygoïde et une co-contraction des deux ventres du digastrique (figure 8b). La position de l'os hyoïde sous le plan mandibulaire facilite ce mouvement (figure 9).

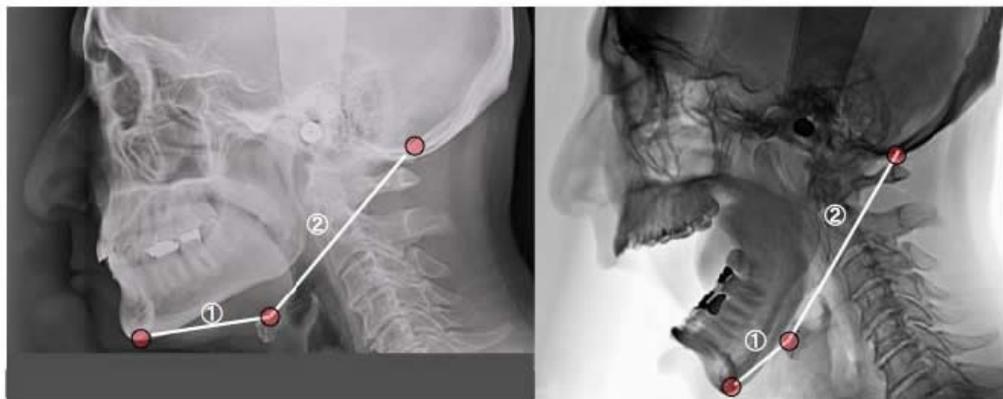
Figure 8



(a) La position de l'os hyoïde avec les muscles (1) digastriques antérieur et postérieur, (2) thyro-hyoïdien et (3) sterno-thyroïdien (d'après Szunyohhy et Fehér, 1996). (b) L'action des muscles ptérygoïde et digastriques dans l'abaissement de la mandibule (d'après Kamina, 2009)

(a) Hyoid bone position with muscles (1) anterior and posterior bellies of the digastric, (2) thyrohyoid and (3) sternohyoid (from Szunyohhy and Fehér, 1996). (b) The action of pterygoid and digastric muscles in the mandible lowering (Kamina, 2009)

Figure 9

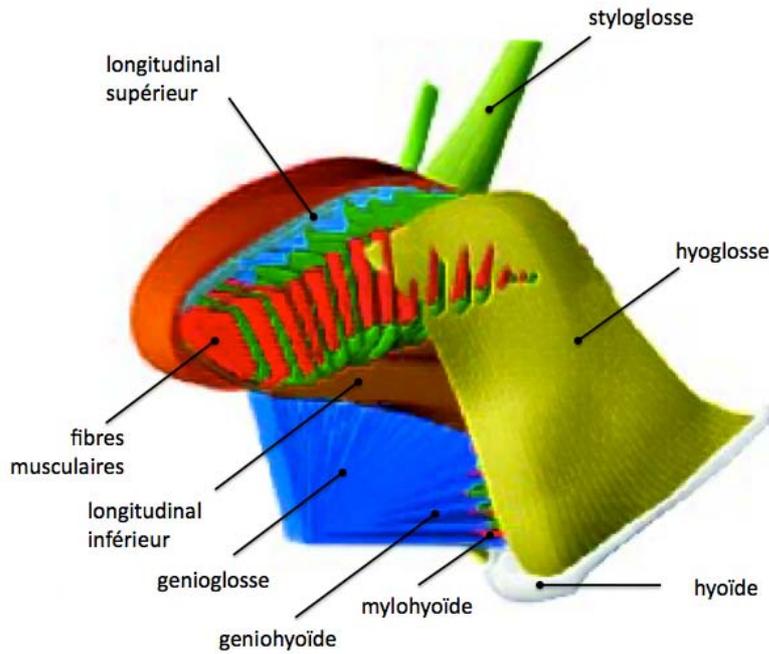


Abaissement de la mandibule par co-contraction des deux ventres du digastrique et de l'action du muscle ptérygoïde. Parties antérieure (1) postérieure (2) du muscle digastrique entre la fosse du digastrique, l'hyoïde et le processus mastoïdal. On peut remarquer que l'os hyoïde reste bien sous le plan mandibulaire
 Mandible lowering due to the cocontraction of the two bellies of the digastric muscle and the pterygoid muscle. Anterior part (1) and posterior part (2) of the digastric muscle between the digastric fossa, hyoid bone, and mastoid process. (radiography, Granat, 2005)

5.4 L'os hyoïde et la langue

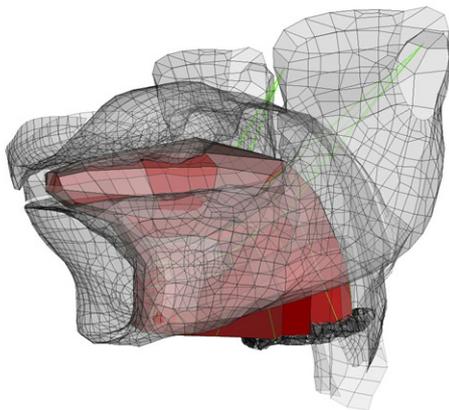
60 L'os hyoïde sert de support à la langue : s'y insèrent les muscles mylo-hyoïdien, genio-hyoïdien et hyo-glosse (figure 10). On dispose de modélisations 2D et 3D de plus en plus précises de cet organe (Payan et Perrier, 1997 ; Wilhelms-Tricarico, 1995 ; Takemoto, 2001 ; Gérard et al, 2003 ; Gérard, 2004 ; Buchaillard, 2007 ; Buchaillard *et al.*, 2009) (figure 11). Elles permettent d'aborder le contrôle des gestes de son déplacement et de mener des études comparatives avec l'anatomie de celle des grands singes (Takemoto, 2008).

Figure 10



Représentation schématique de l'os hyoïde, des muscles de la langue
Schematic representation of the hyoid bone and tongue muscles (Takemoto, 2001)

Figure 11

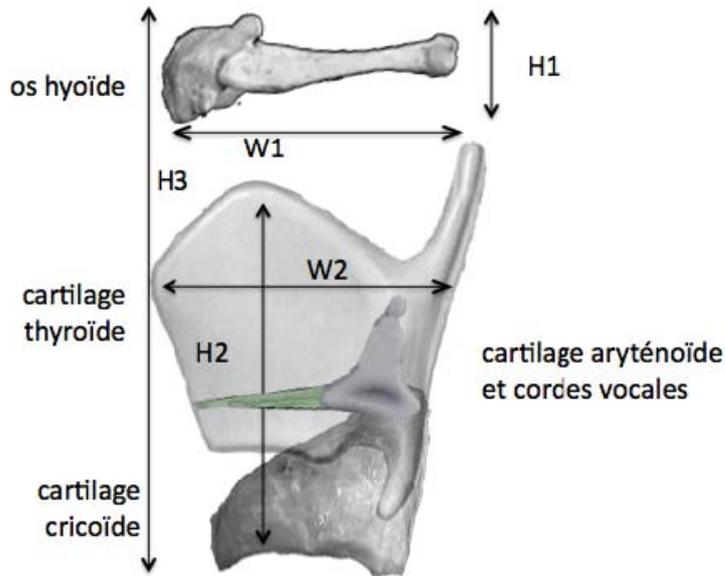


Modélisation biomécanique de la langue en 3D
 3D tongue biomechanical model (Buchillard et al., 2009)

5.5 L'os hyoïde et le larynx

61 Le larynx est attaché à l'os hyoïde par la membrane thyro-hyoïdienne. Il est composé des cartilages thyroïde, cricoïde, aryténoïdes et il contient les cordes vocales (figure 12). On dispose de données biométriques de ces cartilages qui, quelles que soient les sources, reflètent bien la stabilité des dimensions de cet ensemble.

Figure 12

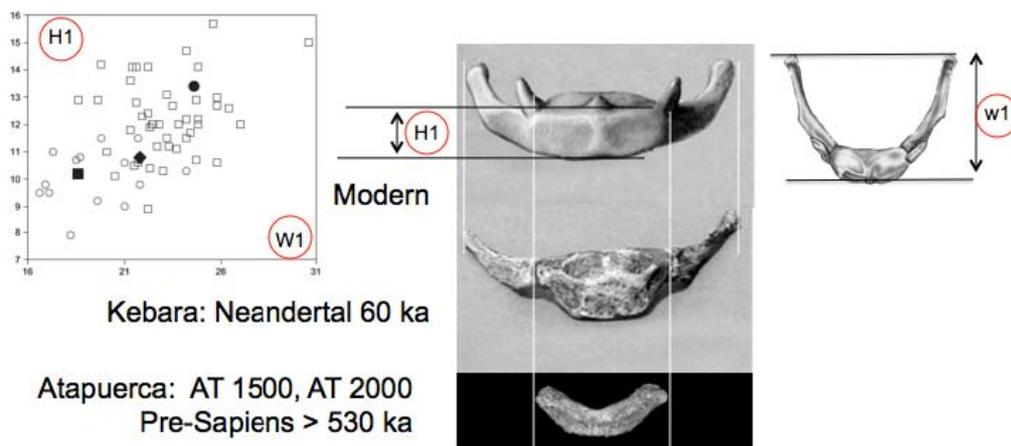


Positions respectives de l'os hyoïde, des cartilages thyroïde, aryténoïdes et cricoïde, et du muscle thyro-aryténoïde qui constitue les cordes vocales (distances et écart types en mm). H1, hauteur du corps de l'os hyoïde 12.3 (1.4) ; H2, hauteur totale du larynx 38.1 (8.2) ; H3, hauteur entre le bord supérieur de l'hyoïde et le bas du cricoïde 63.1 (4.9) ; W1, largeur de l'os hyoïde 29.3 (5.2) ; W2, largeur du cartilage thyroïde 32.2 (4.3)

Relative positions of hyoid bone, thyroid, arytenoid, and cricoid cartilages and of thyroarytenoid muscle which constitutes focal folds (distances and standard déviations in mm). H1, height of the hyoid bone body 12.3 (1.4) ; H2, larynx total height 38.1 (8.2) ; H3, height between hyoid bone superior edge and cricoid lower edge 63.1 (4.9) ; W1, hyoid bone width 29.3 (5.2) ; W2, thyroid cartilage width 32.2 (4.3)

62 Les dimensions de ces différentes parties et de leurs positions respectives (Ajmani, 1990, Eckel et al., 1994, Leksan *et al.*, 2005) vont nous permettre de positionner cet ensemble sous le plan mandibulaire. Il est important de noter que l'os hyoïde le mieux conservé, celui de Kébara 2, a les mêmes dimensions que celles d'un os hyoïde moderne, notamment 32.4 mm pour W1 (Figure 13).

Figure 13



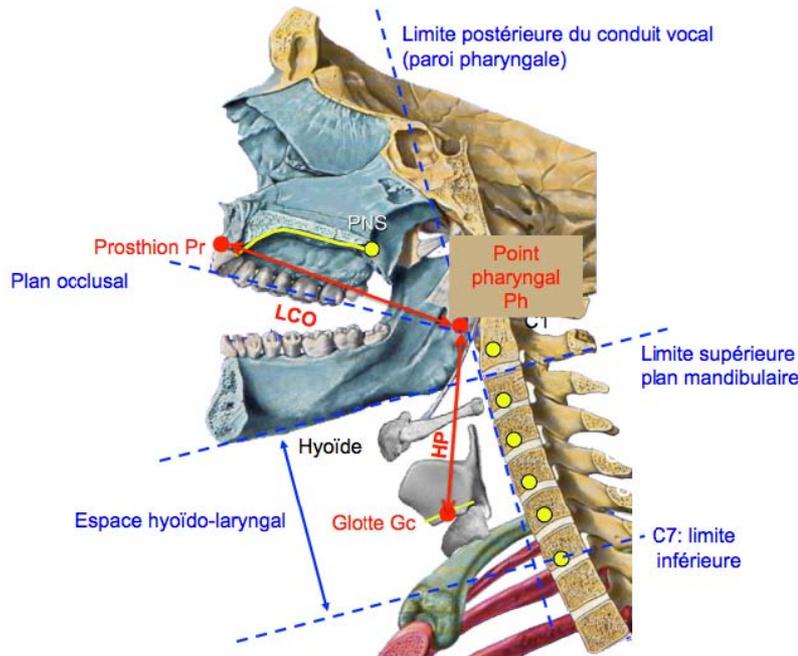
Os hyoïde d'Homme actuel, de Neandertal de Kebara (60 ka) et de pré Sapiens d'Atapuerca (> 530 ka). Les points noirs présentent Kebara et Atapuerca, les carrés des hommes modernes et les ronds des femmes modernes (d'après Martinez *et al.*, 2008)

Modern man, Neanderthal (Kebara, 60 ka) and pre Sapiens (Atapuerca > 530 ka) hyoid bones. Black dots correspond to Kebara and Atapuerca, empty squares to modern men and empty circles to modern females (from Martinez *et al.*, 2008)

5.6 L'espace hyoïde-larynx

63 L'extrémité des lèvres est dépendante des bords alvéolaires du maxillaire et de la mandibule, la paroi pharyngale est bornée en arrière par la partie antérieure de la colonne vertébrale. Pour les cordes vocales, il existe aussi des limites qui permettent de les localiser : en effet l'ensemble constitué par l'os hyoïde (support de la langue et point d'attache des muscles abaisseurs de la mandibule) et le larynx auquel il est suspendu est positionné dans le cou, sous le plan mandibulaire et au dessus de la 7^e vertèbre cervicale qui en constitue la limite inférieure (figure 14).

Figure 14



Les limites osseuses et cartilagineuses dans lesquelles s'insèrent les parties molles du conduit vocal : à l'avant des incisives les lèvres, le palais dur, la mandibule, la partie antérieure de la colonne vertébrale cervicale et sa 7^e vertèbre, la glotte (intervalle entre les cordes vocales) entre les cartilages thyroïde et cricoïde. Figurent aussi LCO, la longueur de la cavité orale et HP la hauteur du pharynx (modifié d'après Pernkopf, 1980)

Vocal tract is delimited by bony and cartilages which limit soft tissues: incisors for lips for the front part, hard palate, mandible, the anterior part of the cervical vertebrae, glottis (between vocal folds), thyroid and cricoid cartilages. Prosthion and pharyngeal landmark and glottis delimit the oral length of the vocal tract, and the pharyngeal height (modified after Pernkopf, 1980)

5.7 La colonne vertébrale cervicale

64 Pour disposer de valeurs moyennes des dimensions de la colonne vertébrale des Hommes actuels nous avons utilisé des radiographies de 56 hommes et de 83 femmes adultes qui ont été réalisées par des orthodontistes. En général n'apparaissent que les vertèbres C1-C5 et tout au plus le haut de C6. Nous avons choisi repérer le basion, et dans la partie antérieure de la colonne vertébrale, le haut de C1, la limite entre C1 et le corps de C2, le haut et le bas de C2 à C5 et le haut de C6 (voir figure 15). L'hypothèse de la permanence des dimensions de la colonne vertébrale n'est pas infirmée : le tableau I présente les moyennes (et les écarts type) des mesures (en mm) pour 56 hommes et 87 femmes que nous avons mesurés à partir de radiographies.

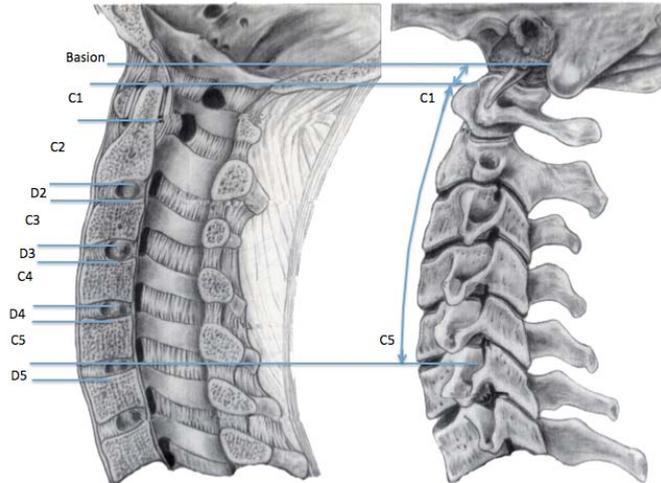
Tableau I

Distances (mm)	hommes	femmes
Basion-C1	7.2 (2.0)	6.0 (1.5)
C1	17.1 (2.3)	14.7 (2.2)
C2 (corps)	23.7 (2.4)	21.1 (2.3)
D2	4.6 (1.2)	4.3 (1.0)
C3	13.8 (1.8)	12.0 (1.2)
D3	5.1 (1.2)	4.8 (1.1)

C4	12.8 (2.1)	11.2 (1.4)
D4	4.7 (1.1)	4.6 (1.0)
C5	12.3 (2.0)	10.6 (1.2)
D5	5.1 (1.2)	4.8 (1.1)
C1-C5 (bas)	94.1 (8.0)	83.4 (5.9)

Distances entre le basion et le haut de C1 ; hauteurs du corps des vertèbres C2 à C5 et des disques intervertébraux D2 à D5. Les distances sont mesurées au niveau sur la face antérieure des vertèbres (distances et écart types en mm)
Distance between basion and the superior edge of C1 and heights of C1-C5 and of D2-D5 intervertebral disks. Distances are measured at the level of the anterior part of vertebrae (distances and standard deviations in mm)

Figure 15



Les repères utilisés pour mesurer la hauteur de la colonne vertébrale cervicale
Landmarks used to measure heights of the cervical vertebrae

65 Il n'existe pas beaucoup d'études permettant de faire une comparaison (Danforth, 1930 ; Katz *et al.*, 1975 ; Gilad et Nissan, 1985 ; Liguoro *et al.*, 1994 ; Kosif *et al.*, 2007), mais nos résultats correspondent bien à ceux qui ont été déjà publiés : les hommes ont des hauteurs de corps vertébraux plus grandes comparés à celles des femmes ($p < 0.01$). Pour tous les sujets on constate une diminution progressive de la hauteur du corps de C3 à C5. La comparaison de ces données avec celles des tableaux IIa et IIb et de la figure 16 montre bien que la hauteur (antérieure) du corps des vertèbres n'a pratiquement pas évolué depuis plusieurs centaines de milliers d'années.

Tableau IIa

Vertèbres cervicales	Kebara	Shanidar II	Skhul V	Rigordou I	Natufian
C2	15.0	20.6	18.0	20.5	22-24
C3	11.0	11.0		10.5	
C4	11.0	10.0-11.0	9.0	9.0	10.5
C5	10.0	11.0	9.5	12.0	9.5
C6	10.8	12.0	10.0		12.0
C7	13.0	13.0	13.0		12-13

Hauteur ventrale du corps des vertèbres : Arensburg (1991) pour Kebara, Trinkaus (1983) pour Shanidar II, McGown & Keith (1939) pour Skhul V, Arensburg (1991) pour Natufian, Heim (1976)
Ventral heights of the cervical bodie: Arensburg (1991) for Kebara, Trinkaus (1983) for Shanidar II, McGown et Keith (1939) for Skhul V, Arensburg (1991) for Natufian, Heim (1976)

Tableau IIb

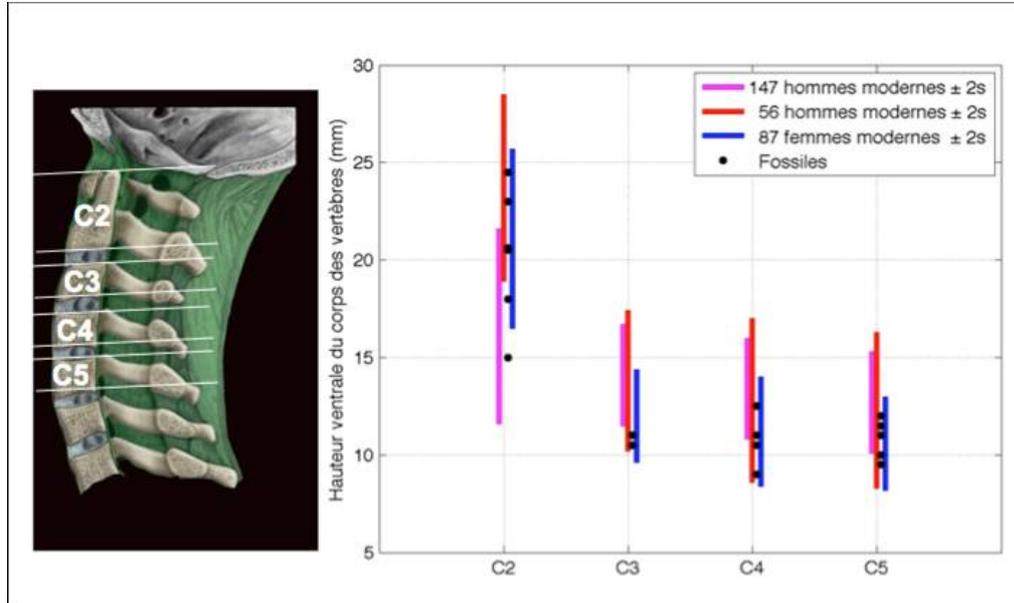
Vertèbres cervicales	La Ferrassie	La Chapelle aux saints	Euro-Américain moderne	Sujets modernes homme-femme
C2	24.5			21.3-23.7
C3			11.0-17.0	12.0-13.8
C4	12.5		10.3-16.2	11.2-12.8

C5	12.0	11.5	10.5-15.2	12.3-10.6
C6	11.5		11.0 -17.0	
C7			12.5-17 .5	

Hauteur ventrale du corps des vertèbres : pour La Ferrassie et La Chapelle-aux-Saints, Lanier (1939), pour les hommes euro-américains modernes Lanier (1939) et nos résultats pour des sujets modernes (hommes et femmes)

Ventral heights of the cervical bodie: for La Ferrassie and La Chapelle-aux-saints, Lanier (1939), for euroamerican modern men Lanier (1939) and our results for modern subjects (men and women)

Figure 16



Hauteur ventrale du corps des vertèbres (moyenne ± 2 écarts type) pour 3 échantillons d'hommes et de femmes modernes et pour les fossiles du tableau II

Cervical vertebrae body ventral height (mean ± 2 standard deviations) for three samples of men and women and for fossils corresponding to table II

6 Positionnement et reconstruction du conduit vocal

6.1 Ontogenèse : la vraie descente du larynx

66 Les données concernant la morphogenèse du conduit vocal sont peu nombreuses (Goldstein, 1980 ; Fitch et Giedd, 1999 ; Vorperian, 2000 ; Vorperian *et al.*, 2005 ; Lieberman et McCarthy, 2007) et celles couvrant les premières années de vie encore moins, alors que cette période est cruciale, puisque c'est principalement pendant les deux premières années que s'effectue le remodelage le plus important du tractus vocal. Seule l'étude de Goldstein (1980), à notre connaissance, couvre la croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte. Ces études montrent globalement que la croissance de ce tractus est loin d'être linéaire et chaque partie constitutive du conduit vocal subit des rythmes de croissance différents. Il est nécessaire de proposer de nouvelles données craniométriques de la tête et du cou, ainsi que des mesures spécifiques au conduit vocal, de la naissance à l'âge adulte, afin de pouvoir étudier l'évolution de la morphologie du tractus vocal et son implication dans les productions acoustiques comme dans les stratégies articulatoires.

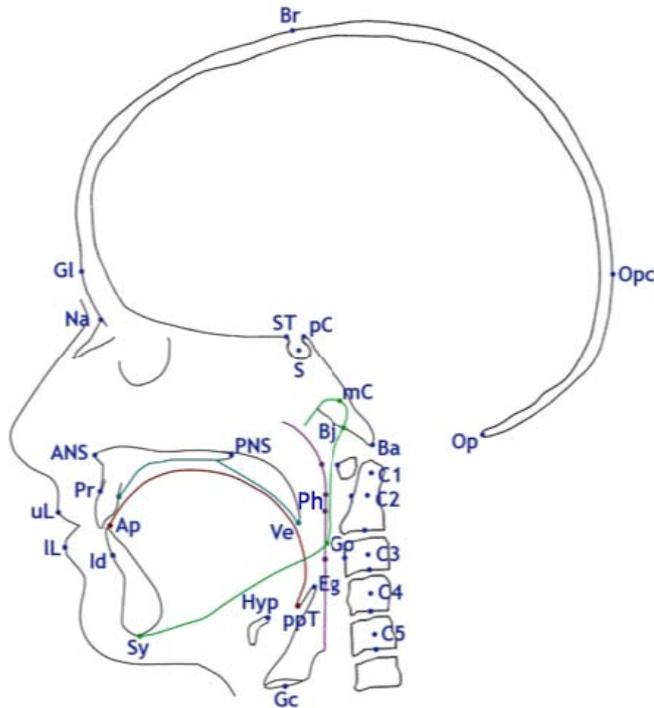
67 Les archives radiographiques que nous avons utilisées (Denver, Iowa, Michigan, Oregon) grâce à la mise à la disposition de l'AAO (*American Association of Orthodontists*), ont toutes été constituées par des orthodontistes américains dans le but d'effectuer une étude longitudinale concernant la dentition. Ces corpus radiographiques offrent les téléradiographies de profil de la tête et du cou de 68 individus leucodermes de type nord-américain, 33 femmes et 35 hommes, suivis longitudinalement entre 1 mois et 25 ans. Elles regroupent des individus radiographiés entre 1950 et 1970, avec en moyenne 15 radiographies par individu, décrivant ainsi la croissance individuelle : un total de 966 radiographies au total, classées par sexe, par âge et par classe dentaire (figure 17). La figure 18 présente les points de repère que nous avons utilisés.

Figure 17



Quatre exemples de radiographies des bases des données de l'American Association of Orthodontists
 Four radiographic examples from the American Association of Orthodontists (Denver, Iowa, Michigan, and Oregon databases)

Figure 18



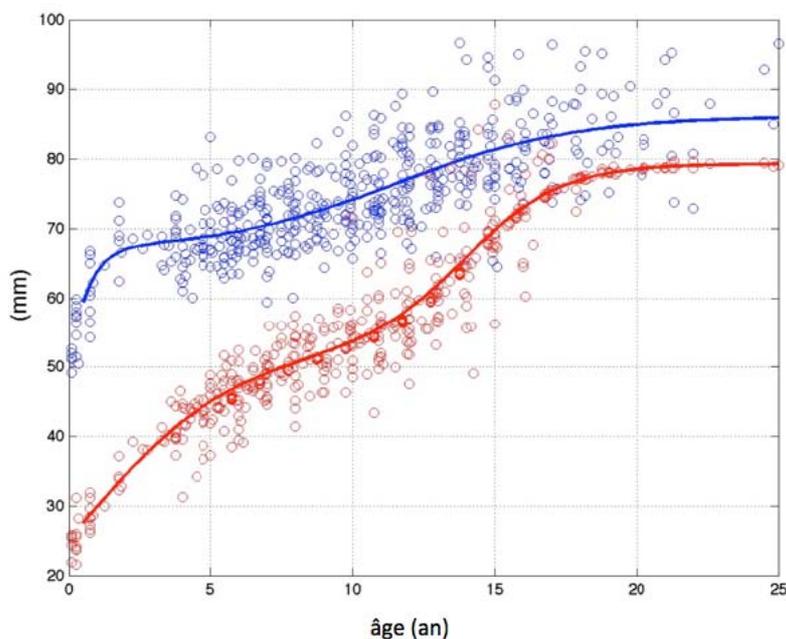
Points de repères : Ba basion, Bj articulaire de Bjork, Br bregma, C1-C5 : centre du corps cervical, Cc centre de la partie supérieure de la glotte, Cm condyle mandibulaire, Eg point supérieur de l'épiglotte, ENa épine nasale antérieure, ENp épine nasale postérieure, Gl glabella, Go gonion, Hyp le point postérieur et supérieur du corps de l'os hyoïde, Id infradental, IL lèvre inférieure, Na nasion, Op opisthion, Opc opisthocranium, Ph point pharyngal, le centre d'occlusion au niveau de la zone de contact entre le voile mou et la paroi pharyngale, point utilisé pour évaluer l'index de la hauteur pharyngale (IHP), Pc clinioïde postérieur, Pr prosthion, uL lèvre supérieure, S centre de la selle turcique, S ephippion, T Sy symphyse mandibulaire, Ve point bas du velum

Landmarks used in this study: Ba basion, Bj Bjork's articulare, Br bregma, C1-C5 centers of cervical vertebrae, Cc center of the superior edge of glottis, Cm mandibular condyle, Eg superior edge of epiglottis, ENa anterior nasal spine, ENp posterior nasal spine, Gl glabella, Go gonion, Hyp posterior and superior edges of hyoid bone, Id infradental, IL

inferior lip, *Na nasion*, *Op opisthion*, *Opc opisthocranion*, *Ph pharyngeal point*, *Pc posterior clinoid*, *ppT posterior point of tongue*, *Pr prosthion*, *uL superior lip*, *S sella turcica*, *STephippion*, *Sy mandibular symphysis*, *Ve velum*

- 68 Chez les hommes, la croissance de la cavité orale est relativement importante durant les premières années de vie (passant de 50 à 68 mm entre 0 et 2 ans), puis beaucoup moins forte par la suite. En effet, la dimension horizontale du conduit évolue peu entre 2 et 25 ans : elle passe de 68 à 86 mm en 22 ans de croissance (notons quand même une dispersion de près de 20 mm dans ces mesures). Son rythme de croissance est donc très lent et très stable, avec un pic de croissance peu important durant la puberté.
- 69 En ce qui concerne la croissance de la cavité pharyngale (ou hauteur du larynx), on assiste à un remodelage plus complexe et beaucoup plus important. La croissance de cette dernière est très importante durant les premières années (entre 0 et 5 ans), puis devient légèrement moins forte entre 5 et 12 ans. Elle présente ensuite un pic très important à la puberté, entre 12 et 18 ans (que l'on ne retrouve pas chez les femmes), puis se stabilise autour de 20 ans. Sa longueur totale passe de moins de 30 mm à 1 an à près de 80 mm à l'âge adulte (mesures en accord avec celles obtenues par Vorperian et al, 2005).
- 70 Globalement, la croissance de la partie pharyngale est beaucoup plus importante (50 mm en 25 ans environ, soit une croissance de 166 %) que celle de la partie orale (seulement 20 mm, soit 41 % d'augmentation). Ceci est mis en évidence par le fait que la cavité pharyngale est très peu développée chez le jeune enfant, chez qui elle représente moins d'un tiers de la longueur totale du conduit vocal, alors que chez l'homme adulte, celle-ci représente presque la moitié de la longueur totale du conduit vocal.
- 71 Chez les femmes, la croissance de la cavité orale est également assez faible, avec une évolution importante durant la première année de vie (données non prises en compte par l'optimisation). Si la longueur de la cavité orale, à la naissance, est en moyenne égale à celle des hommes (50 mm environ), elle est en revanche légèrement moins importante à l'âge adulte (80 mm contre 86 mm chez les hommes).
- 72 En ce qui concerne la cavité pharyngale, celle-ci croît de façon beaucoup plus régulière et beaucoup moins importante que pour les hommes (passant de 30 mm à 62 mm contre près de 80 chez les hommes). On ne retrouve pas, comme c'était le cas chez les hommes, une poussée de croissance du larynx à l'adolescence. De façon générale, la croissance de la partie pharyngale est beaucoup moins importante chez les femmes que chez les hommes (figure 19). Cette croissance verticale importante chez les hommes à l'adolescence constitue la principale cause de dimorphisme sexuel en ce qui concerne le conduit vocal.

Figure 19

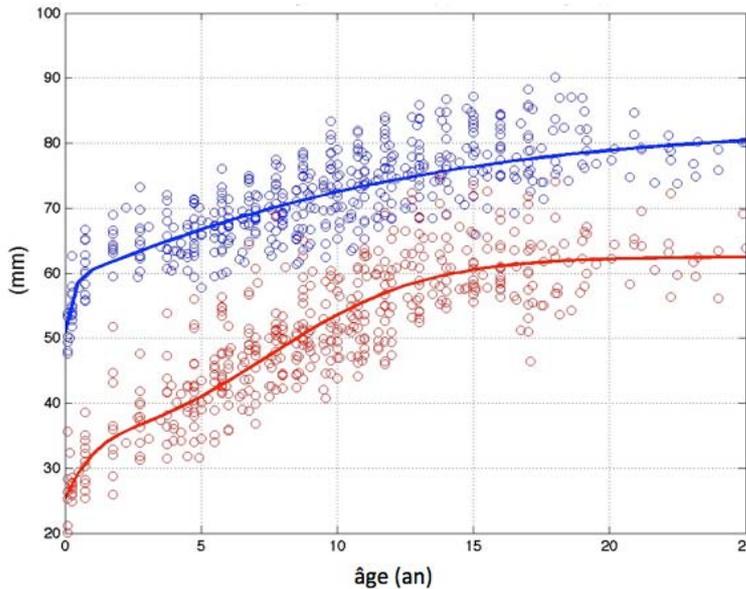


Évolution de la Longueur de la Cavité orale (LCO, bleu) et de la Hauteur Pharyngale (HP, rouge) en fonction de l'âge, pour les hommes

Oral cavity length (blue) and of pharyngeal height (red) for men from birth to adulthood

73 La figure 20 présente l'évolution de la longueur du conduit vocal estimée à partir d'un modèle articulatoire positionné sur les radiographies et déterminé à partir du prosthion, du point pharyngal et de gloote.

Figure 20



Évolution de la Longueur de la cavité orale (bleu) et de la Hauteur Pharyngale (rouge) en fonction de l'âge, pour les femmes

Oral cavity length (blue) and pharyngeal height (red) for women from birth to adulthood

74 Depuis les travaux de Goldstein (1980) on sait que les doubles logistiques permettent d'optimiser ces données de croissance. Ces fonctions s'écrivent (Equation 1) :

Equation 1

$$y = \frac{A}{1 + e^{B - C^2 t}} + \frac{D}{1 + e^{E - F^2 t}}$$

75 Nous avons calculé les 6 coefficients de ces courbes pour les dimensions de la vite oral et du pharynx (tableau III).

Tableau III

	LCO ♂	PH ♂	LCO ♀	PH ♀
A	66.82	53.33	75.36	47.15
B	-1.14	0.08	-0.60	1.06
C	1.32	0.59	0.33	0.49
D	19.35	26.15	9.17	16.26
E	3.70	8.47	14.36	0.03
F	0.57	0.78	7.41	5.56

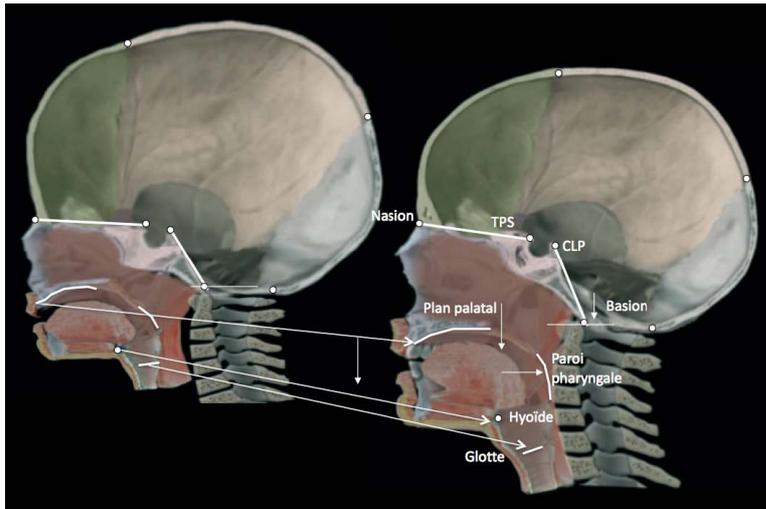
76 Valeur des coefficient des double logistiques pour la Longueur de la cavité orale, la Hauteur du Pharynx et la longueur du conduit vocal (hommes et femmes)
 Values of the double logistic optimization parameters for oral cavity length and pharyngeal height (men and women).

77 D'une manière générale (figure 21) :

78 - le palais est de plus en plus profond au cours de la croissance ;

- 79 - le voile mou croît très peu, il présente donc une taille conséquente chez le jeune enfant en regard de la longueur totale de son conduit vocal ;
- 80 - l'os hyoïde et la glotte subissent un déplacement vertical prononcé comparativement aux vertèbres en regard, c'est dans ce sens que l'on peut parler de *descente du larynx*.
- 81 - la colonne vertébrale présente un rayon de courbure (ou lordose) de plus en plus important ;
- 82 - la paroi pharyngale, très stable dans son épaisseur durant la croissance (excepté durant la première année de vie où son épaisseur est plus importante) et appliquée à la paroi pharyngale, et elle suit la lordose de la colonne vertébrale ;
- 83 - le conduit vocal dans son ensemble croît principalement verticalement (déplacement relatif par rapport à l'os hyoïde et à la glotte), avec une poussée de la face (maxillaire et mandibule) vers l'avant et le bas. Sa longueur passe environ du simple au double.

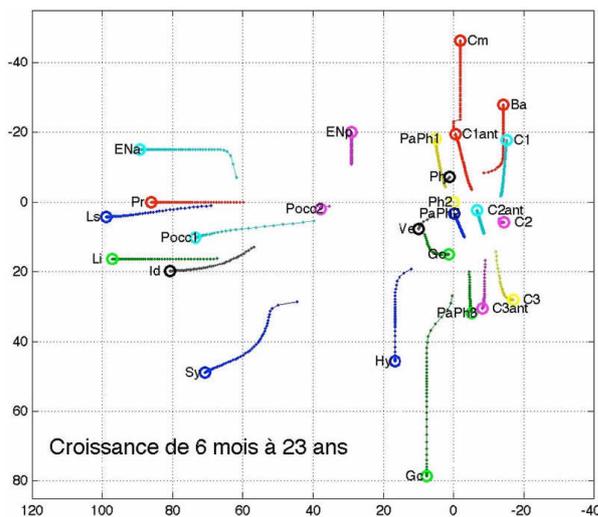
Figure 21



La restructuration complète du crâne, de la colonne vertébrale et du conduit vocal, de la naissance à l'âge adulte
Skull, cervical vertebrae, and vocal tract evolutions from birth to adulthood

- 84 A la figure 22 sont tracées les évolutions moyennes des principaux points mesurés de 6 mois à 23 ans pour l'ensemble des radiographies qui ont été traitées.

Figure 22



Évolution des principaux repères du conduit vocal de l'Homme durant l'ontogenèse par rapport à l'architecture osseuse du crâne et des trois premières vertèbres cervicales
Variations of the main landmarks of the vocal tract (men) in relation to the skull bony architecture and the third first cervical vertebrae. (Barbier, 2010 ; Captier et al., 2011)

6.2 Phylogénèse : pas de descente du larynx

- 85 Une fois la bipédie acquise, il y a peut-être 4 millions d'années, on peut considérer que le larynx de nos prédécesseurs et proches cousins pouvait déjà occuper la même position que

chez l'Homme actuel. En revanche, comme nous allons le constater, ce qui a nettement changé chez Homo sapiens c'est la position antéro-postérieure de la face qui a considérablement reculé pour se loger sous le crâne dans l'espace provoqué par la bascule occipitale. De plus, c'est le déplacement du tiroir dentaire par rapport à la base osseuse qui a fait apparaître le menton (Granat, 2000).

6.2.1 Un choix de fossiles

86 Nous avons analysé (voir Annexe I) 31 crânes qui couvrent la période de 1500 ka BP pour des fossiles d'hominidés qui ont été mis à notre disposition par le Musée de l'Homme à Paris où dont les données étaient disponibles dans la littérature. (1) 10-30 ka BP: hommes modernes : Paléolithique supérieur ; (2) 90-200 ka BP: hommes anatomiquement modernes ; (3) 45-90 ka BP: Neandertal; (4) 1.5 Ma BP: Homo ergaster. Ces crânes sont bien conservés et présentent une mandibule dans la majorité des cas. Par contre les colonnes vertébrales cervicales originales sont très peu nombreuses et nous avons dû les reconstituer avec celles dont nous disposions et à partir de données publiées.

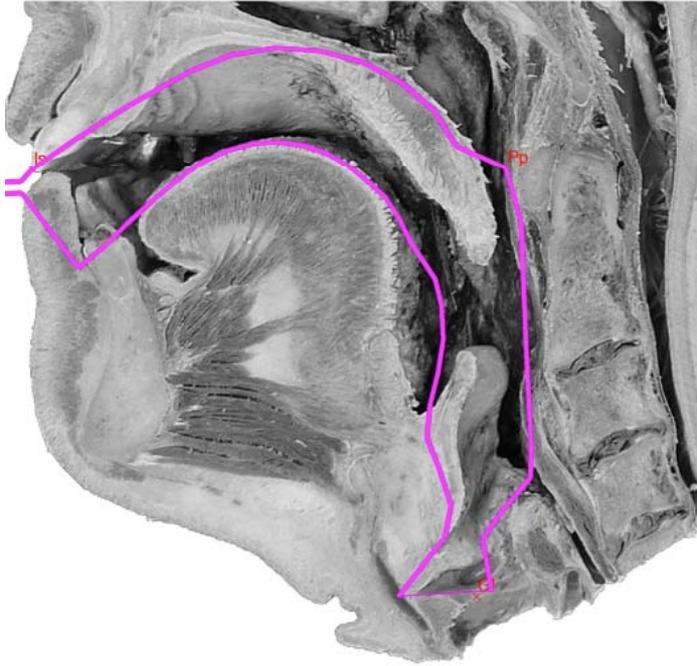
87 Les parties molles ne se fossilisent pas, mais avec le crâne et la colonne vertébrale d'un même fossile il est possible de reconstruire les limites de son conduit vocal. Malheureusement on ne dispose qu'exceptionnellement de toutes ces parties osseuses en même temps.

88 Pour plusieurs fossiles du paléolithique supérieur (Cro Magnon, Saint Germain la Rivière, Chancelade, Cap Blanc), pour les néandertaliens de la Ferrassie et de la Chapelle-aux-Saints et de Kebara on dispose des vertèbres cervicales ; pour l'Homo ergaster WT 15000, un adolescent du Kenya (1,5 Ma), on ne dispose que des vertèbres C6-C7.

6.2.2 La reconstruction du conduit vocal : méthodologie

89 Nous disposons d'un modèle de conduit vocal dérivé du Variable Linear Articulatory Model (VLAM) développé par Maeda (Boë & Maeda, 1997). Un jeu de sept paramètres permet le tracé de la coupe sagittale de la glotte aux lèvres. Ce modèle permet de s'adapter à des conduits vocaux présentant une grande gamme de IHP ($0.40 \leq IHP \leq 1.0$). Pour reconstruire le conduit vocal, l'ensemble hyoïde-larynx est d'abord positionné par rapport à la mandibule, puis la colonne vertébrale cervicale est placée sous la base du crâne. Le conduit vocal est ensuite généré, à partir du modèle articulatoire VLAM calé par rapport à l'incisive supérieure), au point pharyngal et à la glotte. Le logiciel de génération du modèle permet de modifier l'orientation du conduit de manière à ce que la paroi pharyngale corresponde bien à la partie antérieure de la colonne vertébrale. Il permet aussi d'ajuster, lorsque l'on dispose d'une radiographie, le palais dur dont la hauteur est très variable chez l'adulte (± 2 cm) et nettement moins haut chez l'enfant (figure 23). Il est bien clair que le modèle ne nous permet pas d'inférer des paramètres de commande articulatoire, puisqu'il a été établi sur un individu donné; mais, par contre, il nous permet de calculer géométriquement les dimensions LCO et HP du conduit vocal, ainsi que sa longueur totale.

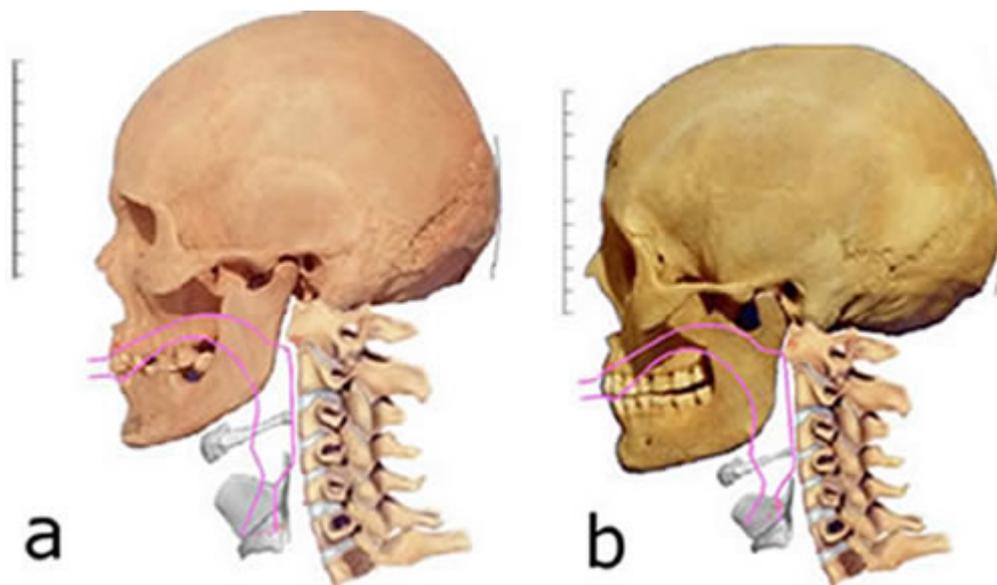
Figure 23



Ajustement du modèle articulatoire VLAM sur une coupe anatomique (Laboratoire d'anatomie de Montpellier, G. Captier), à partir de trois repères : l'incisive supérieure, le point pharyngal et la glotte
 Localization and ajustement of the vocal tract model (VLAM) on an anatomical midsagittal section (Laboratory of anatomy of Montpellier, G. Captier) using three landmarks: Superior incisors (Is), pharyngeal point, and glottis

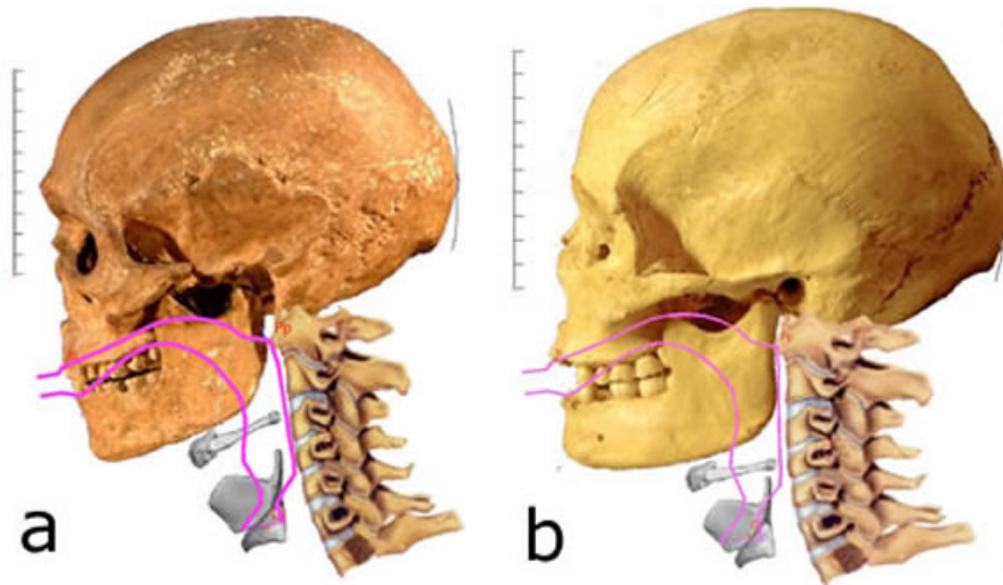
90 On peut alors noter la position de la glotte par rapport à la colonne vertébrale. Le modèle permet de calculer la longueur du conduit vocal, mais le rapport entre la longueur cavité orale à la hauteur pharyngale ne dépend pas du modèle, mais du positionnement de initial de l'os hyoïde, du larynx et de la colonne vertébrale cervicale. Il nous est maintenant possible de présenter l'ensemble crâne, colonne vertébrale cervicale os hyoïde, cartilages thyroïde et cricoïde (figures 24a-24f) et les résultats correspondants (Tableau IV). Nous avons sélectionnés des fossiles pour chaque époque.

Figure 24a



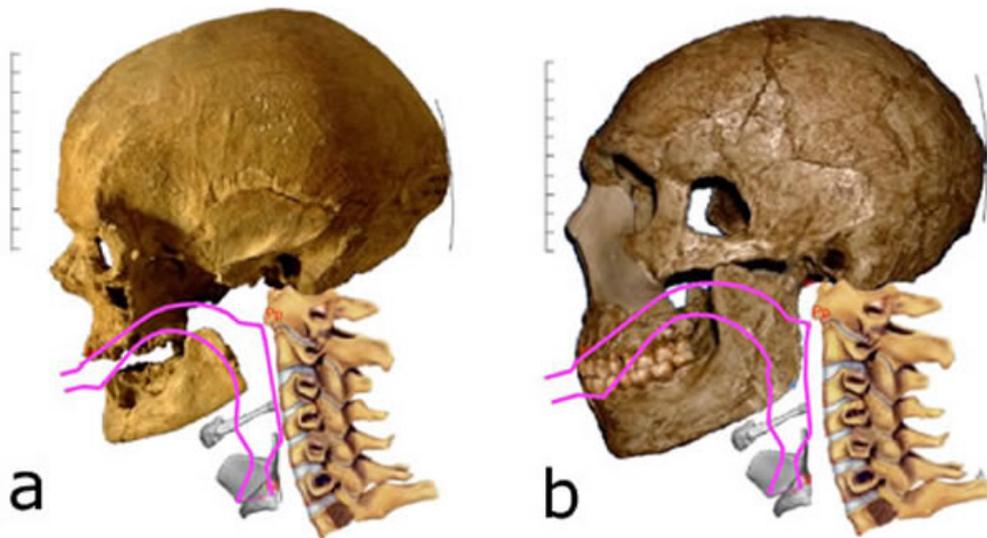
Positionnement de l'os hyoïde, des cartilages thyroïde et cricoïde, de la colonne vertébrale cervicale et du conduit vocal pour un homme (a) et une femme (b) modernes. Remarquer que la glotte de l'homme se situe entre C5 et C6 mais au niveau de C5 pour la femme
 Position of the hyoid bone, thyroid and cricoid cartilages, cervical vertebrae, vocal tract for modern man (a) and woman (b). Note that the glottis position is located at the level of C5-C6 for man and at the level of C5 for woman

Figure 24b



Combe Capelle, Homme, 10 ka, Homo Sapiens (a), Abri Pataud, Femme, 20 ka (b)
 Combe Capelle, Man, 10 ka, Homo Sapiens (a) , Abri Pataud, Woman, 20 ka (b)

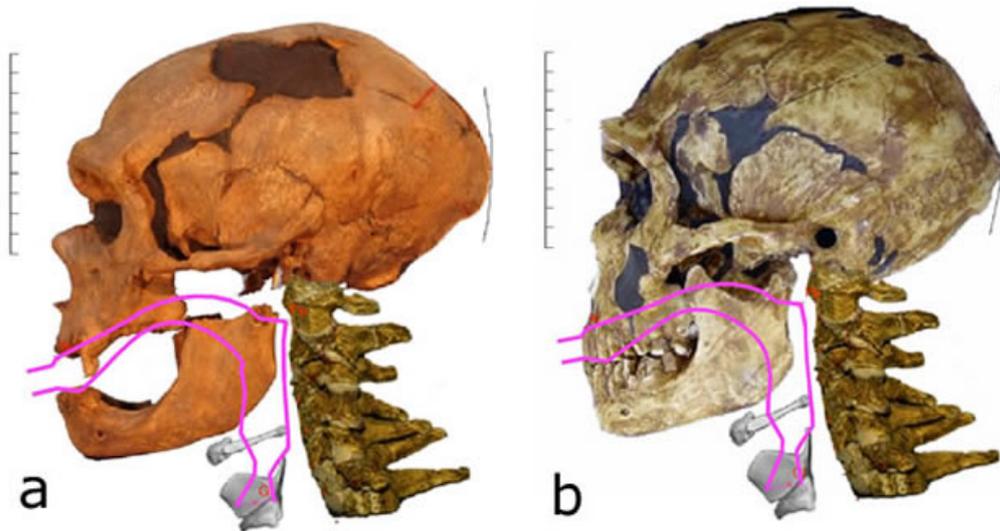
Figure 24c



Cro-Magnon, Homme, 27 ka, Homo Sapiens (a) ; Amud, Homme, 45-47 ka, Neanderthal (b)
 Cro-Magnon, Man, 27 ka, Homo Sapiens (a) ; Amud, Man, 45-47 ka, Neanderthal (b)

91 Pour le paléolithique supérieur nous avons adopté une colonne vertébrale cervicale "type" avec une hauteur du sommet de C1 au bas de C5 de 94 mm pour les hommes et 83 mm pour les femmes. On peut noter que la glotte se situe au niveau des sujets modernes.

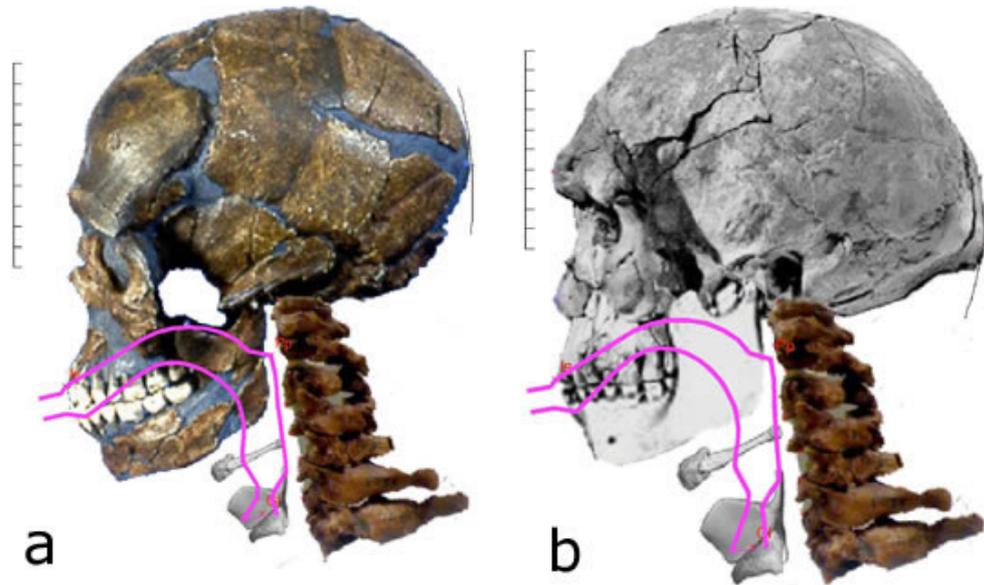
Figure 24d



La Chapelle-aux-Saints, Homme, 44-60 ka, Neanderthal (a) ; La Ferrassie, Homme, 72 ka (b)
 La Chapelle-aux-Saints, Man, 44-60 ka, Neanderthal, (a) ; La Ferrassie, Man, 72 ka (b)

92 La colonne vertébrale cervicale a été reconstituée à partir des vertèbres originales. Remarquer que le bas du cricoïde de Neandertal se situe entre C6 et C7 au lieu de C5-C6 pour un Homme actuel.

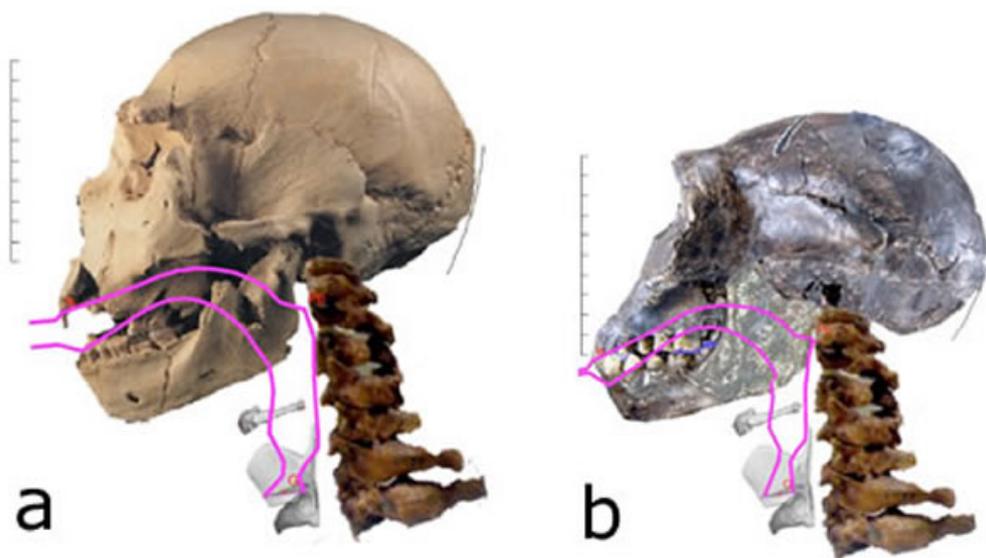
Figure 24e



Qafzeh IX, Femme, 90 - 100 ka, Anatomiquement moderne (a) ; Herto, Homme, 160 ka (b)
 Qafzeh IX, Women, 90 - 100 ka, Anatomically modern (a) ; Herto, Man, 160 ka (b)

93 Pour ces deux fossiles, nous avons adopté la colonne vertébrale de Kebara. Comme pour Neandertal, le bas du cricoïde se situe entre C6 et C7.

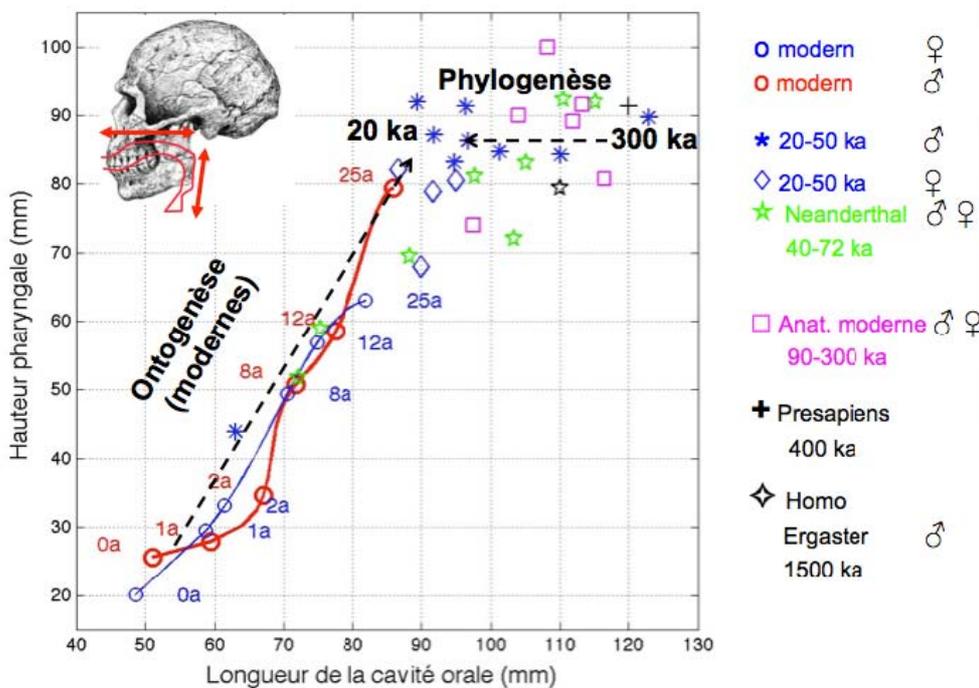
Figure 24f



Atapuerca (Homme, 300 ka) Pré-Sapiens (a), WT 1500 (Adolescent, 1.5 Ma) Homo Ergaster (b)
 Atapuerca (Man, 300 ka) PreSapiens (a), WT 1500 (Adolescent, 1.5 Ma) Homo Ergaster (b)

94 La figure 25 regroupe les résultats pour l'ontogénèse et pour tous les fossiles. Au cours de l'ontogénèse des sujets actuels (repérés à 0a, 1a, 2a, 8a, 12 a, 25 a) la croissance s'accompagne d'une augmentation plus importante de la hauteur pharyngale comparée à celle de la longueur de la cavité orale. Le dimorphisme sexuel apparaît au cours de l'adolescence. Pour les fossiles, les dimensions sont supérieures à celles d'un homme ou d'une femme actuelle ; pour le paléolithique supérieur (Étoiles, hommes ; Losange, femmes) on retrouve le dimorphisme sexuel actuel.

Figure 25



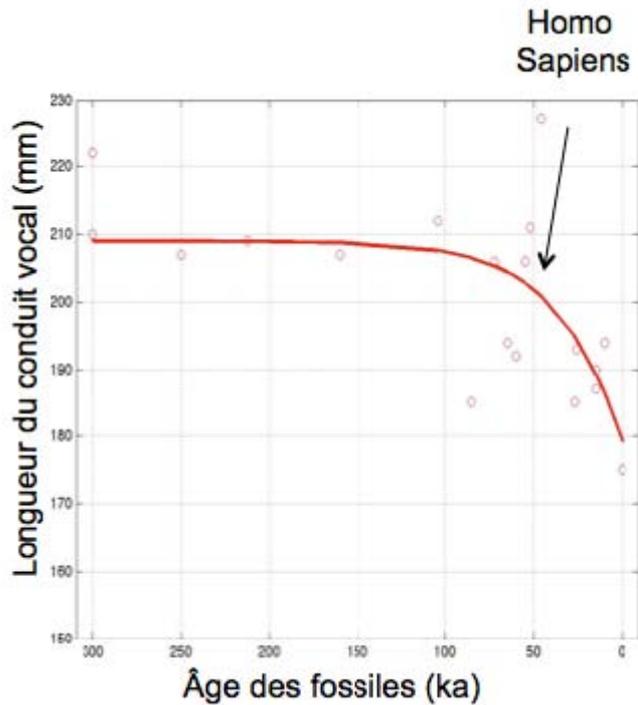
Résultats des mesures pour les sujets actuels (hommes et femmes (o) de l'étude longitudinale (tracés réalisés à l'aide des coefficients du tableau III et des fossiles)
 Data for modern men and women (o) for longitudinal study (curves derived from coefficients of table III and fossils, see text above)

95 On ne dispose pas d'assez de fossiles pour préciser leur ontogénèse, mais il n'est pas invraisemblable de supposer, au vu des jeunes néandertaliens, que tous les jeunes sujets

fossiles sont localisés dans la même zone que les nouveau-nés actuels. Mais ce qui différencie la phylogenèse de l'ontogenèse c'est la constance de la hauteur pharyngale depuis au moins 300 ka.

96 Globalement la longueur du conduit vocal a diminué au cours de la phylogenèse. La figure 26 présente cette décroissance pour les 300.000 dernières années (nous n'avons gardé que les sujets masculins et avons laissé de côté WT 15000 qui est le seul de notre série à atteindre le million d'années et en plus c'est un adolescent). On note une variation de 210 mm aux 175 mm bien connus des hommes actuels. Pendant 200.000 ans la courbe présente une forte stabilité, puis s'amorce une décroissance de la longueur du conduit vocal à partir des 100.000 dernières années.

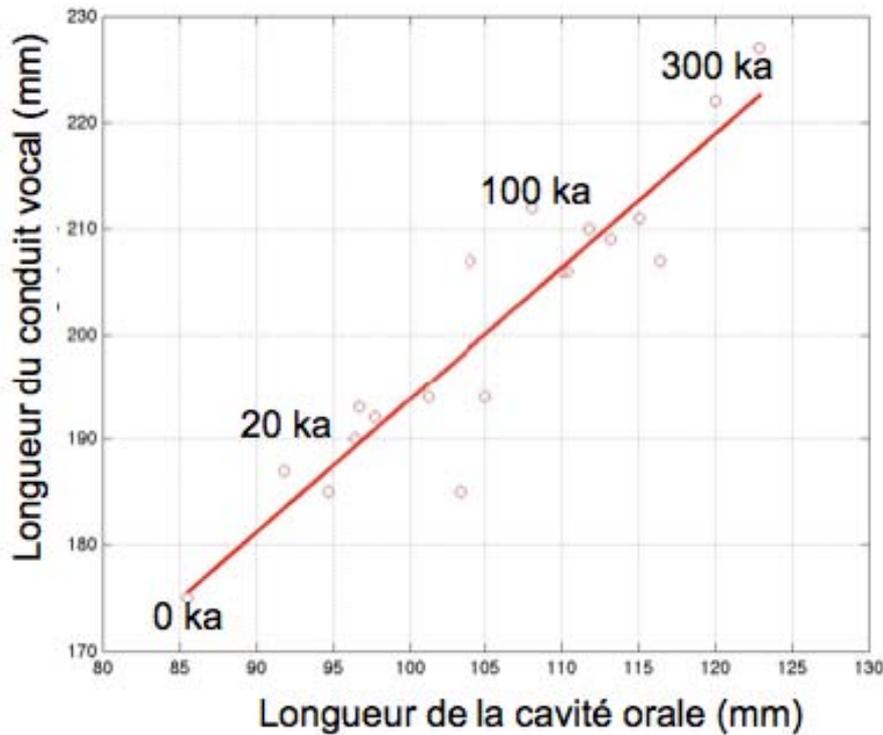
Figure 26



Décroissance de la longueur du conduit vocal au cours de ces 300.000 dernières années
 Decrease of the vocal tract length during the last 300,000 years

97 Cette décroissance est liée essentiellement à la diminution de la longueur de la cavité orale (LCO), que l'on observe bien sur la figure précédente, et qui est liée à la décroissance de la face bien connue des anthropologues. La figure 27 présente la relation entre LCO et la longueur du conduit vocal. Bien entendu on observe aussi une corrélation de la longueur du conduit vocal avec la hauteur du pharynx, mais elle est nettement moins élevée, bien que significative ($R = 0.63$, $p = 0.006$).

Figure 27



Relation entre la longueur de la cavité orale et la longueur totale du conduit vocal pour les fossiles de 0-300 ka BP. (R = 0.93, p < 0.0001)
Relationship between the oral cavity length and the total length of the vocal tract, in fossils from 0 to 300 ka BP

7 Potentialités acoustiques du conduit vocal : L'espace vocalique

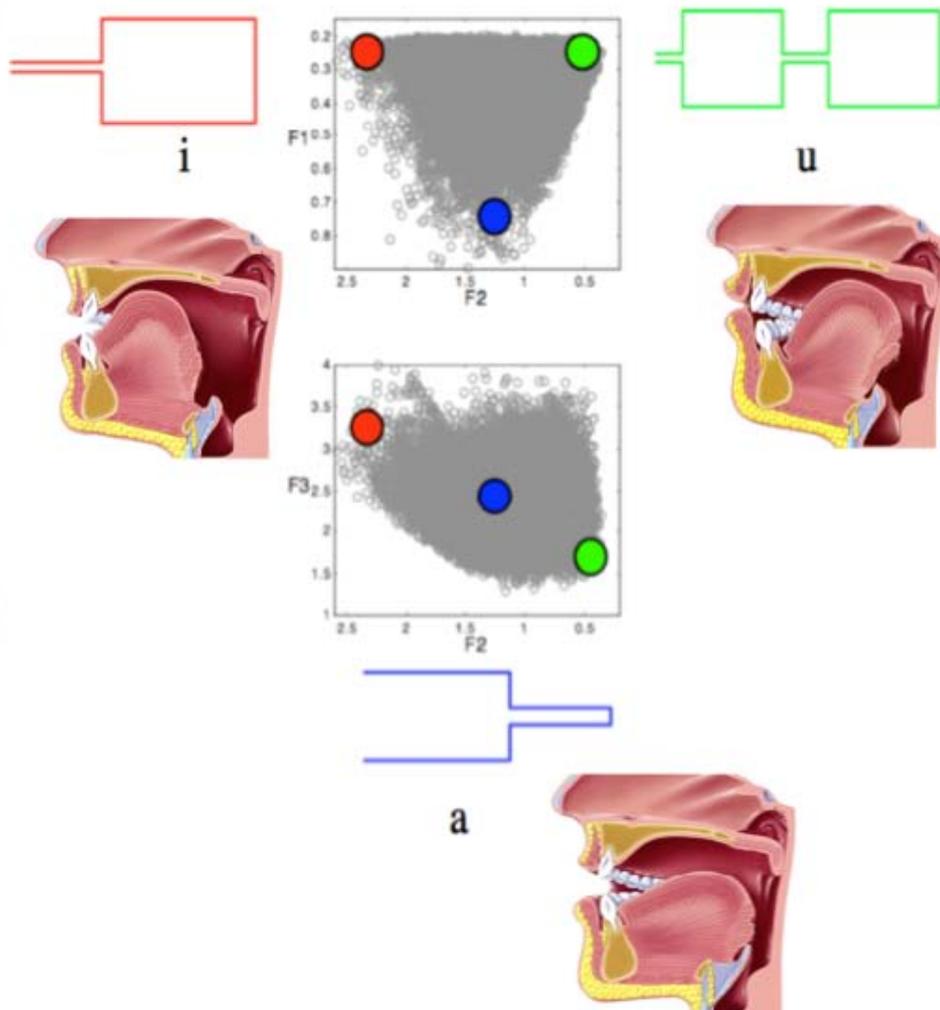
- 98 Dans leur très grande majorité, toutes les langues du monde présentent les voyelles /i a u/, un triangle à l'intérieur duquel se situent toutes les autres voyelles. En fait ces structures sonores correspondent, dans à un espace acoustico-perceptif, aux contrastes maximaux (Schwartz et al. 1997).
- 99 Nous tenterons de montrer que tous ces conduits ont les mêmes potentialités acoustiques, qu'il peuvent produire trois voyelles extrêmes /i a u/.
- 100 On peut obtenir l'espace acoustique maximal, c'est-à-dire la description de toutes les possibilités acoustiques de ces conduits vocaux en fonction du déplacement de la langue, de la mandibule et des lèvres. Les paramètres de commande qui émergent sont la position du rétrécissement à l'intérieur du conduit vocal (qui caractérise le lieu d'articulation), l'aire à ce niveau, l'aire aux lèvres et l'amplitude de leur projection (protrusion). À l'intérieur du conduit vocal, le rétrécissement, contrôlé par le déplacement de la lame ou du dos de la langue, délimite ainsi le conduit vocal en deux parties (antérieure et postérieure). Celles-ci ne correspondent pas nécessairement au découpage anatomique en cavités buccale et pharyngienne. Les voyelles cardinales extrêmes /i a u/, c'est-à-dire les plus différentes sur le plan acoustique et perceptif correspondent à un rétrécissement nettement marqué (une faible aire à la constriction). Pour produire ces trois voyelles universelles, la connaissance élémentaire de l'acoustique (Fant, 1960) démontre que :
- 101 - il n'y a qu'une seule solution pour produire une voyelle possédant une troisième résonance élevée comme celle du /i/ : il faut contrôler une constriction avec la lame de la langue mise en gouttière contre le palais dur; par simple conséquence, il s'ensuit que la longueur de la cavité arrière restante sera toujours suffisante pour produire une deuxième résonance, elle aussi

élevée; quant à la première résonance, elle sera toujours assez basse pour être perçue comme celle d'un /i/;

102 - produire les deux premières résonances caractéristiques des deux autres voyelles extrêmes ne pose aucun problème : grâce à deux résonateurs de Helmholtz pour le /u/ et deux tubes en forme de pavillon, pour le /a/.

103 Nous avons vérifié cette hypothèse avec un modèle du conduit vocal simple ou plus sophistiqué. Nous avons généré un grand nombre d'articulations vocaliques (plusieurs dizaines de milliers) pour cartographier ce que l'on appelle l'Espace Vocalique Maximal (Boë *et al.*, 1989). L'EVM dessine alors, dans le plan des deux premiers formants F1 F2, le triangle vocalique bien connu : à ses extrémités, se retrouvent les configurations [i a u] prédites par la théorie de la dispersion (Liljencrants et Lindblom, 1972; Schwartz *et al.*, 1997) (figure 28).

Figure 28



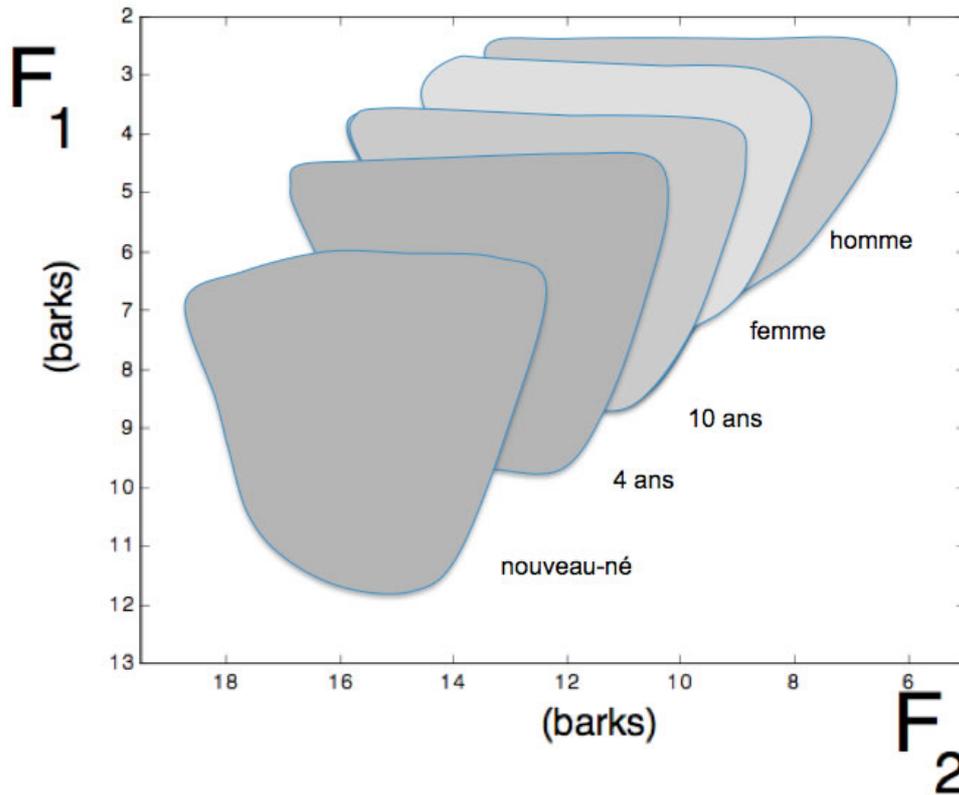
Les configurations vocaliques pour /i a u/ schématisées par des tubes (constriction et cavités) et les coupes sagittales correspondantes. Espace vocalique maximal cartographié dans les plans F1F2 et F2 F3 (en kHz) à partir de 10.000 articulations générées par un modèle de conduit vocal simplifié (4 tubes, Fant, 1960). Aux extrémités du triangle F1F2 on retrouve bien les formes prototypiques des tubes pour les trois voyelles cardinales. Dans l'espace F1 F2 F3, ces voyelles présentent bien un contraste maximal prédit par la théorie de la dispersion
Schematized vowel shapes by tubes (constriction zones and cavities), and corresponding sagittal configurations. Maximal Vowel Space is generated by a simplified vocal tract model (four tube model, Fant 1960) and described by F1F2 and F2 F3 planes (kHz). At the extremities the /i a u/ presenting the maximal contrast predicted by the theory of dispersion

104 Les conséquences de la croissance du conduit vocal sur l'espace maximal vocalique (EVM) sont bien connues depuis les mesures de Peterson et Barney (1952) et prévisibles (Fant, 1960). Des conduits vocaux de longueurs différentes ont pratiquement les mêmes potentialités de

différenciation acoustique, à ceci près que les EVM sont décalés dans l'espace des fréquences (les fréquences de résonance d'un conduit vocal sont inversement proportionnelles à sa longueur, mais les rapports des résonances restent constants).

105 On obtient ainsi avec un modèle articulaire, simplifié ou plus sophistiqué, les EVM au cours de la croissance. Ils sont quasiment identiques (en Bark) : le bébé, s'il avait les mêmes capacités de contrôle articulaire que l'adulte, pourrait produire, dès la naissance, le même espace vocalique (figure 29).

Figure 29



Les espaces vocaliques maximaux de l'homme, de la femme, d'un enfant de 10 ans, de 4 ans et d'un nouveau-né dans le plan F1 F2 avec des échelles en Bark (une unité qui rend compte de la perception des fréquences) qui représentent les dimensions de l'espace perceptif

F1-F2 Maximal vowel spaces for adult men and women, 10years old and 4 years old children, and a newborn. Scales in Barks in order to approach spatial perception

106 Ce n'est donc pas au niveau de la géométrie du conduit vocal qu'il faut chercher les causes de l'émergence de la parole pour l'Homme moderne ou de l'absence de parole pour les grands singes, mais au niveau de son contrôle. Il faut comprendre qu'un pharynx de faible dimension par rapport à la cavité buccale n'est pas un handicap pour produire les voyelles des langues du monde. Si les Hommes de Neandertal ne produisaient pas les contrastes vocaliques maximaux / i a u/, ce n'était pas pour les raisons avancées par Lieberman et Crelin.(1971) Anatomiquement, il n'y a pas de raison de faire appel à une quelconque *descente du larynx* au cours de l'évolution.

107 En faisant porter sur des caractéristiques anatomiques du conduit vocal tout le poids de son argumentation, la théorie de Lieberman et Crelin a entraîné les débats sur l'émergence de la parole dans une *fausse piste*. Cependant il faut noter qu'il s'agit d'un fonctionnement normal de la science dans la mesure où l'hypothèse de la descente du larynx était une hypothèse forte et falsifiable (Boë *et al.*, 2004 ; Boë *et al.*, 2005 ; Boë *et al.*, 2007b).

108 Les travaux actuels sur l'origine du langage s'orientent maintenant vers l'étude des contraintes sensori-motrices périphériques qui régulent les gestes de production de la parole, celle des circuits corticaux et de leur capacité de contrôle. Mais encore fallait-il lever l'hypothèque de la position du larynx.

109 Il faut quand même bien noter que si le conduit vocal des singes (comme tous les tubes dont la forme est contrôlable) peut produire des fonctions de transfert correspondant aux

trois voyelles /i a u/. Mais il n'en reste pas moins qu'ils ne produisent pas spontanément des vocalisations qui leur permettraient de générer acoustiquement ces voyelles. Il reste à savoir si l'anatomie de leur larynx et /ou son câblage neural n'est pas un handicap pour vocaliser (Deacon, 1997). Si ce n'est pas le cas une série d'apprentissages pourrait mettre en évidence leur capacité à vocaliser, puis à moduler ce son par des gestes du conduit vocal.

8 Le contrôle des articulateurs du conduit vocal

8.1 Production de la parole et succion-mastication-déglutition

110 Il est donc vraisemblable que nos prédécesseurs et lointains cousins du genre *Homo* (1,6 Ma) avaient tous la capacité potentielle de produire tous les sons des langues actuelles. Mais avaient-ils une capacité de contrôle suffisante pour les générer ?

111 Traditionnellement les champs disciplinaires des recherches dans les domaines de la production de parole et de la succion-mastication-déglutition (SMD) ont été relativement étanches. Il était difficilement envisageable de comparer la parole, une production cognitive de très haut niveau, à la SMD, un acte automatique de bas niveau, sinon pour souligner les différences (Ostry *et al.*, 1997). Et pourtant la parole emprunte les effecteurs de la SMD, pourquoi n'en récupérerait-elle pas une partie des gestes ? D'autant plus que de nombreuses observations mettent en évidence que les troubles de SMD (dysphagie) sont souvent associés à des troubles de production de la parole.

"La déglutition représente un intérêt pour l'orthophonie étant donné la complexité et les parallèles entre le contrôle et la coordination de la déglutition et de la production de la parole et du langage". (Lapointe et McFarland, 2004 ; McFarland et Tremblay 2006, 2007).

112 Les fonctions motrices orofaciales sont supportées par le système musculo-squelettique issu des arcs pharyngés et innervé par les nerfs crâniens du tronc cérébral. Elles assurent des fonctions vitales comme l'ingestion alimentaire et la respiration qui doivent être coordonnées pour éviter les fausses routes. Le développement de ces fonctions débute dans la période fœtale par la mise en place dans un premier temps de la succion-déglutition puis des mouvements respiratoires.

113 A la naissance, l'ingestion alimentaire de liquide se fait grâce au réflexe de succion-déglutition dont la régulation se fait au niveau du tronc cérébral. La disposition anatomique particulière du nouveau-né, palais mou horizontalisé, larynx crânié avec l'épiglotte qui vient au contact de la face nasale du voile mou, lui permet de déglutir et de respirer en même temps : l'ingestion alimentaire liquide se fait latéralement alors que la ventilation est assurée dans la partie médiane. Au cours de cette phase d'oralité primaire les temps oral et pharyngé de la déglutition sont couplés et indissociables. La succion-déglutition nutritive nécessite une force suffisante des muscles oraux et de la langue avec des cycles de l'ordre de 1Hz. Bien que la succion-déglutition soit un réflexe à la naissance celle-ci va devenir de plus en plus régulière et automatique avec l'âge.

114 L'oralité primaire va durer pendant les six à huit premiers mois de la vie puis va être progressivement remplacée par l'oralité secondaire qui débutera avec l'alimentation fractionnée à la cuillère et le changement de consistance du bol alimentaire. Pendant cette transition, de nouvelles praxies alimentaires contrôlées par la volonté, au niveau des aires motrices corticales, vont se mettre en place. À la différence de la succion-déglutition; le nourrisson va pouvoir être capable de dissocier le temps oral et le temps pharyngé. En contre partie il devra coordonner la déglutition avec la respiration pour éviter les fausses routes. La mastication, dont le but est de préparer le bol alimentaire, est une activité rythmique de contraction musculaire entre muscles agonistes et antagonistes avec une fréquence de 1 à 2 Hz au début. Elle va devenir de plus en plus efficiente au cours des deux premières années en même temps que la denture temporaire apparaît.

115 Les maturations fonctionnelles de l'ingestion alimentaire et de la coordination de la respiration vont se mettre progressivement en place avec le passage de l'oralité primaire à l'oralité secondaire. Cette transition utilise les mêmes supports anatomiques musculo-squelettiques qui

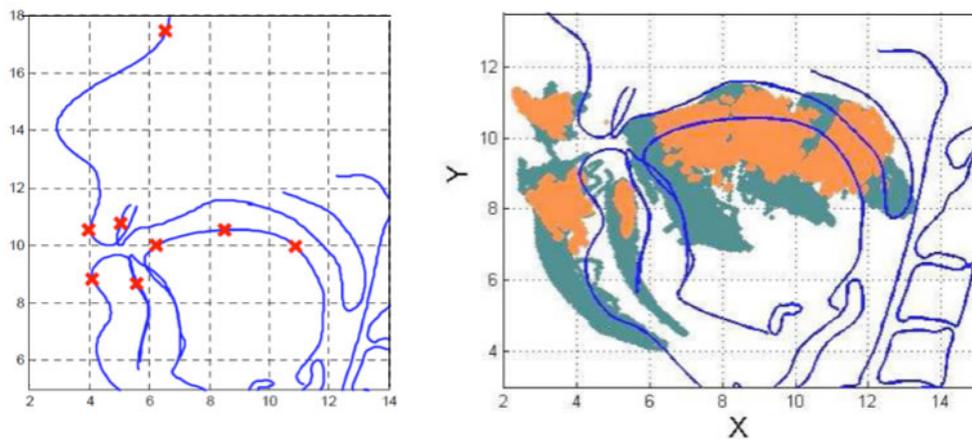
vont eux-mêmes se modifier dans leur anatomie au cours de cette période. Ces structures vont être également le support de la parole qui apparaît avec le babillage vers 7 mois.

116 Les premiers résultats qui mettent véritablement en évidence le recouvrement des gestes de SMD et de parole datent de 2002, ils sont dus à une équipe de médecins, chirurgiens et anthropologues (Hiimae *et al.*, 2002 ; Hiimae et Palmer, 2001, 2003). L'expérience a consisté à disposer des capteurs de positions sur les lèvres, la mandibule, la langue et l'os hyoïde sur des sujets qui déglutissaient du liquide, mastiquaient des bols alimentaires de différentes consistances d'une part et qui produisaient des séquences de parole d'autre part. Les résultats montrent que les limites des trajectoires de chacun de ces repères correspondant à la parole sont un sous-ensemble des lieux correspondant à la succion-mastication-déglutition :

"Although there is a fundamental dichotomy between the referential framework and the methodological approach to studies of the orofacial complex in feeding and speech, it is clear that many of the shapes adopted by the tongue in speaking are seen in feeding" (Hiimae *et al.*, 2002).

117 Une deuxième série d'expériences (Serrurier *et al.* 2008, 2011) menées dans le cadre de la modélisation du conduit vocal a repris le même protocole, mais l'a étendu à l'élaboration de deux modèles : l'un pour la SMD et l'autre pour la production de la parole. Les mesures faites dans les deux études précédentes sont confirmées (figure 30).

Figure 30



Localisation des capteurs et superpositions de leurs déplacements pour la parole (en clair) et pour la mastication-déglutition (en plus foncé) (Serrurier *et al.*, 2008, 2011). Les contours correspondent à une position de repos
*Midsagittal contour of a reference vocal tract with the position of the eight EMA sensors. Superposition in the midsagittal plane of the whole set of EMA sensors coordinates for speech domain (orange) over feeding domain (green). Fixed contours of the vocal tract at rest are plotted for reference purposes (Serrurier *et al.*, 2008, 2011)*

118 Ensuite deux modèles articulatoires ont été élaborés pour chacune des activités. Le modèle de mastication-déglutition se révèle plus général que le modèle de production de parole : il permet de reproduire, avec une bonne précision (erreurs inférieures au mm), non seulement les gestes de mastication-déglutition mais aussi ceux de parole. On peut faire l'hypothèse qu'au cours de la phylogenèse et de l'ontogenèse la parole a été et est acquise à partir d'une spécialisation des gestes de mastication-déglutition, mais aussi une réorganisation de leur contrôle. Cette hypothèse présente un certain nombre de vraisemblances qui ne sont pas infirmées par les connaissances dans le domaine de la neurologie (Jean, 2001 ; Martin *et al.*, 2004) : la mastication-déglutition est fortement latéralisée à gauche (comme la production de la parole) et même si le générateur d'activité motrice centralement programmé (*central pattern generator*) est localisé dans la medulla oblongata du tronc cérébral on observe des recouvrements corticaux avec les mouvements volontaires de la langue au niveau du cortex pariétal péricentral et antérieur.

8.2 Babillage et cyclicité

119 La compositionnalité des sons a fait l'objet d'une proposition théorique majeure, la théorie *Frame then Content* (FC) (MacNeilage, 1998 ; MacNeilage et Davis, 2000, 2001, 2009). Cette théorie fait jouer aux cyclicités mandibulaires un rôle clé dans les premiers pas du langage, tant dans l'ontogenèse que dans la phylogenèse. En effet, après avoir exploré divers types

de vocalisations quasi-stationnaires dans les premiers temps de sa vie, le babillage canonique marque vers 6-7 mois (âge vers lequel l'enfant tient seul sa tête droite) le début de vocalisations dynamiques, impliquant une coordination par le bébé de sa source vocale (pour produire du son) et de mouvements cycliques de sa mâchoire (pour moduler le son). Ces cycles de mâchoire produisent des alternances de phase ouverte de type [a] et de phase fermée, où la mâchoire a porté la langue et/ou les lèvres en position haute bloquant le passage de l'air et produisant une proto-consonne (figure 17). Il en résulte des proto-syllabes de type [bababa] ou [dadada] selon que la fermeture se fait au niveau de la langue ou des lèvres, voire [bdabdabda] si les deux fermetures sont concomitantes (Vilain, 2001). Ces proto-syllabes sont dénommées *cadres (frames)* par MacNeilage et Davis, avant que ne se mette peu à peu en place un contrôle indépendant des phases vocaliques et consonantiques, que les auteurs appellent *contenu*, d'où le nom de théorie *Frame then Content*. Cette séquence développementale reprend, selon la théorie, une séquence phylogénétique dans laquelle les gestes de mâchoire impliqués dans les mécanismes d'ingestion chez les primates non humains auraient été détournés vers une fonction communicationnelle avec les mimiques faciales observées chez les grands singes (*lip-smacks, tongue-chatter* : bruits de lèvres, claquements de langue), étendue vers une fonction de modulation vocale ouvrant la porte à des gestes vocaux utilisables par la communication parlée.

120 Cette organisation motrice en cadres et contenus portés par une dynamique mandibulaire sous-jacente est considérée par MacNeilage comme une solution au problème classique (Lashley, 1951) de la production d'un ordre sériel de cibles par des gestes par nature continus (MacNeilage, 2010). Ainsi, *la théorie FC fournit un point d'entrée dans la compositionnalité des sons (ou phonologique), grâce au système dynamique constitué par la mandibule.*

9 De la phylogénèse à la morphogénèse : les "bonnes formes" des systèmes sonores des langues du monde

121 Si l'on admet ainsi l'existence d'un chemin conduisant, sur la base d'éléments *pull* à déterminer, c'est-à-dire de bénéfiques évolutionnistes qu'il reste à découvrir, vers la naissance du langage et de la parole, la question posée est alors celle des formes que peuvent prendre les unités de communication de ce langage. En d'autres termes, si l'on suppose résolu le problème de la *phylogénèse* (de la genèse d'une humanité dotée de langage, en l'occurrence) se pose alors le problème de la *morphogénèse*, c'est-à-dire de la genèse des formes de la communication langagière. Ce problème a alimenté également un large ensemble de recherches, initiées au début des années 1970 par la naissance conjointe de théories majeures de la communication parlée, la théorie de la dispersion de Bjorn Lindblom (Liljencrants et Lindblom, 1972) et la théorie quantique de Stevens (1972). Nous ne traiterons pas ici de la question de la morphogénèse. Disons simplement que, si l'on accepte la théorie *Frame-then-Content* de MacNeilage et Davis qui dote les humains de capacité de modulation vocale par dérivation du système de mastication-déglutition, on obtient directement un point d'entrée vers un invariant des systèmes sonores des langues du monde, l'alternance de voyelles et de consonnes au sein de syllabes. En ajoutant des principes d'optimisation perceptive et motrice des formes générées par le conduit vocal, nous avons obtenu des principes de prédiction des systèmes vocaliques ou consonantiques (/i a u/ ou /i e a o u/) comme voyelles privilégiées ; des consonnes non voisées plutôt que voisées ; parmi les plosives, /p t k/ ou /b d g/ comme système de base (voir Boë *et al.*, 1997 ; Schwartz *et al.*, 2011) dans le cadre d'une extension que nous avons proposée de la théorie de Lindblom, la théorie de la *dispersion-focalisation* (Schwartz *et al.*, 1997).

122 Ainsi, la naturalisation du langage fournit une perspective singulière à la proposition structuraliste de l'arbitraire des formes du langage : si l'arbitraire de la correspondance entre le signifié et le signifiant n'est pas remis en question pour l'essentiel (en dehors des propositions phonosymbolistes à la portée très limitée), le langage puise ses formes dans un stock d'unités sonores non infini (Lindblom, 1990) et même en réalité fort restreint, contraint qu'il est par les pressions structurantes et les conditions aux limites imposées par les systèmes cognitifs (de perception, d'action, de mémoire, d'apprentissage, etc.) sur le langage tout au long de son évolution passée ou présente.

Tableau IV - Annexe

Nom Adulte ou (âge)	Datation (ka)	Sexe	Longueur du crâne Gl-Opc (mm)	Longueur de la cavité orale LCO (mm)	Hauteur Pharyngale PH (mm)	IndexIHP = PH/LCO	Longueur du conduit vocal (mm)
Homo Sapiens							
Modern man	0	H	182	85.5	82.1	0.97	175
Modern woman	0	F	178	79.9	7.00	0.87	157
Combe Capelle	10	H	202	101.2	84.7	0.84	194
Obercassel	15	H	194	91.8	87.1	0.95	187
Cap Blanc	15	F	186	91.7	79.0	0.79	179
Chancelade	15	H	193	96.4	91.3	0.94	190
St Germain la Rivière	15.8 ± 0.2	F	185	86.6	82.1	0.95	170
Taza 1	16.1 ± 1.4	F	173	90.0	68.0	0.75	164
Abri Pataud	20 ± 0.25	F	183	95.0	80.5	0.84	180
Predmost	26	H	193	96.7	86.3	0.89	193
Grimaldi	26	A	196	89.3	91.9	0.90	176
Cro Magnon	27 ± 0.27	H	202	94.7	83.2	0.88	185
Pech de l'Aze (1a 6m)	41.7 - 43.6	E	169	63.0	43.9	0.69	110
Shanidar 1	40 - 70	H	207	110.0	84.3	0.76	206
Homo neanderthalensis							
Amud 1	45 - 47	H	213	122.9	89.7	0.73	227
Spy 1:	60	H	200	97.7	81.1	0.86	192
La Chapelle-aux-Saints	44 - 60	H	209	115.1	91.9	0.80	211
Roc de Marsal (2a 6m – 4a)	60 - 70	E	174	75.2	59.0	0.78	136
La Quina H18 (7-8a)	65	E	170	72.1	51.7	0.71	130
La Quina V	65	H	204	105.0	83.1	0.80	194
Teshik-Tash (8-11a)	70	E	185	88.2	69.5	0.79	159

La Ferrassie	72	H	206	110.4	92.3	0.83	206
Tabun I	50 - 120	H	183	103.3	72.1	0.72	185
Anatomiquement moderne							
Qafzeh IX	90 - 100	F	198	97.4	74.0	0.76	178
Skhul V	93 - 115	H	192	108.1	100	0.84	212
Kabwe	125 - 300	H	206	113.2	91.6	0.80	209
Herto	160	H	219.5	104.0	90.0	0.86	207
Arago 21	200 - 300	H	202	116.4	80.8	0.70	207
Petralona	200 - 400	M	209	111.8	89.1	0.79	210
Pre-Sapiens							
Atapuerca 5	300	H	181	120.0	91.3	0.76	222
Homo Ergaster							
WT 15000 (15 a)	1300 - 1600	A	165.5	110	79.4	0.72	219

Datation (kilo années before present : ka BP). H : homme, F : femme, A : adolescent, E : enfant
 Dating (kilo years before present: ka BP). H: male, F: female, A: adolescent, E: Child

10 Conclusion

123 La réarticulation des domaines de recherche sur l'émergence de la parole et du langage qui se développe depuis une quarantaine d'années peut se définir par un consensus : le naturalisme qui est au centre de cette approche incite à décrire les relations entre les aspects biologiques et la parole et le langage, par une accumulation des preuves établies dans une multiplicité des domaines. On retrouve bien la dichotomie entre forme et substance mais il faudrait dépasser les frontières traditionnellement établies entre sciences du langage et sciences de la parole. Il s'agit manifestement d'un système dont la complexité est peut-être du même ordre que celui de l'apparition de la vie. Les chercheurs se trouvent confrontés à un manque d'observable, à la difficulté de monter des protocoles expérimentaux et à l'ampleur des connaissances à rassembler dans des équipes pluridisciplinaires. Comme pour les travaux sur l'origine de l'Homme, on assiste à un foisonnement théorique qui entraîne un certain nombre de développements très hypothétiques. Il semble important de se livrer, avec des partenaires épistémologues, à de régulières mises en perspectives réflexives et plus que jamais les hypothèses falsifiables feront avancer les connaissances.

124 La mise en évidence de FOXP2 dont la déficience perturbe la production de la parole et l'acquisition du langage constitue un nouveau point d'entrée pour la recherche génétique. Sa présence dans le règne animal ne réduit pas son importance pour la parole et le langage, mais représente plutôt un autre exemple de recrutement et de modification au cours de l'évolution de substrat existant. En ce qui concerne l'équipement de la production de la parole, nous avons tenté de montrer qu'il existe une continuité dans l'évolution. La connaissance des gènes HOX depuis la mouche drosophile en passant par la souris nous permet de comprendre la structuration crânio-caudale et la cohérence de la disposition de la base du crâne, de la mandibule, de l'os hyoïde et de la colonne vertébrale. Depuis l'acquisition de la bipédie, il est possible d'avancer que la morphologie du conduit vocal de nos ancêtres différait de peu de celle de l'Homme actuel. D'ailleurs en admettant même qu'ils aient été dotés d'un plus petit pharynx, la connaissance de l'acoustique du conduit vocal nous permet d'avancer qu'il aurait quand même pu produire tous les sons des langues du monde, à condition de disposer de capacités de contrôle suffisantes. En ce qui concerne celles-ci, nous avons montré que les

mouvements des articulateurs pour la production de la parole peuvent être considérés comme un sous ensemble de ceux que l'on peut observer actuellement pour la succion, mastication déglutition. Ce qui tendrait à avancer que la parole, qui utilise des organes initialement prévus pour d'autres fonctions, aurait aussi récupéré une partie des gestes de l'ingestion de liquide et de nourriture. C'est d'ailleurs dans cette voie de recherche que s'inscrit la mise en place du babillage à partir de la cyclicité de la succion. Il y a vraisemblablement plusieurs centaines de milliers d'années, le conduit vocal et son contrôle présentaient un état initial favorable à l'émergence de la parole.

125 Bien entendu il ne s'agit que d'hypothèses fondatrices d'un programme de recherche dont il reste beaucoup à affiner pour développer une heuristique positive. Trop d'inconnues demeurent et, à l'heure actuelle, il n'est pas possible de connaître l'époque de l'apparition de la parole. L'étude plus approfondie des moulages endocrâniens permettra peut-être un jour prochain de mieux cerner les possibilités langagières des hommes fossiles. Dean Falk, paléanthropologue et spécialiste du cerveau des Primates et des Hommes fossiles, étudie des reconstitutions du cerveau par scanner 3D. L'avenir est encore plein d'espoir.

Bibliographie

Abry C, Vilain A, Schwartz JL editors (2004). Vocalize to Localize ? A call for better crosstalk between auditory and visual communication systems researchers. 'Vocalize to Vocalize'. *Interaction Studies. Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems* 5, 313-324.

Abry C, Vilain A, Schwartz JL (2009). *Vocalize to Localize*. Amsterdam : John Benjamins.

Ajmani ML (1990). A metrical study of laryngeal squeueleton in adult Nigerians. *Journal of Anatomy* 171, 187-191.

Alemseged Z, Spoor F, Kimbel WH, Bobe R, Geraads D, Reed D, Wynn JG (2006). A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia. *Nature* 443, 296-301.

Ambrose SH (2001) Paleolithic technology and human evolution. *Science* 291, 1748-1753.

Arbib MA (2005). From Monkey-like Action Recognition to Human Language: An Evolutionary Framework for Neurolinguistics (with commentaries and author's response). *Behavioral and Brain Sciences* 28, 105-167.

Arensburg B (1991). The vertebral column, thoracic cage and hyoid bone. In: Bar Yosef, O, Vandermeersch B (Eds.), *Le Squelette Moustérien de Kébara 2. Cahiers de Paléanthropologie*. Éditions du CNRS, Paris, France, pp. 113-146.

Arensburg B, Tillier AM, Vandermeersch B, Duday H, Schepartz LA, Rak Y (1989). A Middle Palaeolithic human hyoid bone. *Nature* 338, 758-760.

Arnold K, Zuberbühler K (2006). Language evolution: Semantic combinations in primate calls. *Nature* 441, 303.

Auroux S. (1982). Linguistique et anthropologie en France (1600-1900). *Travaux d'Histoire des Théories Linguistiques, THTL*, 1, VIII, 1-21.

Auroux S (1989). *Histoire des idées linguistiques. Tome 1 : La naissance des métalangages en orient et en occident*. Liège : Mardaga.

Auroux S (1992). *Histoire des idées linguistiques. Tome 2: Le développement de la grammaire occidentale*. Liège : Mardaga.

Auroux S (1995). *Le comparatisme en linguistique. In Le XX^e siècle, science politique et tradition*, pp. 67-89. Paris : Berger-Levrault.

Auroux S (2000). *Histoire des idées linguistiques, Tome 3: l'hégémonie du comparatisme*. Liège : Mardaga.

Auroux S. (2007). *La question de l'origine des langues suivi de l'historicité des sciences*. Paris : PUF.

Barbier G (2010). Croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte Étude radiographique longitudinale. Mémoire de Master, Sciences du langage, Université Stendhal, Grenoble.

Beautemps D, Badin P, Bailly G (2001). Linear degrees of freedom in speech production : Analysis of cineradio- and labio-film data and articulatory-acoustic modeling. *Journal of the Acoustical Society of America* 109, 2165-2180.

- Beaune S. de (2007). La préhistoire est-elle toujours une science ?, Un siècle de construction du discours scientifique. 3, 13-21. *Actes du Congrès Préhistorique de France, XXVI^e session, Congrès du centenaire*, Evin J, editor. [<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00406457/en/>]
- Benoît R (2001). Development Biology, craniofacial genetics. *Edgewise J.* 44, 9-40.
- Benoît R (2008). Les recherches génétiques portant sur le développement de l'individu peuvent-elles éclairer les mécanismes de l'évolution ? *Bulletin de l'Académie nationale de Chirurgie dentaire* 51, 109-122.
- Bickerton D (2003). Linguists play catchup with evolution. *Journal of Linguistics* 37, 581-591.
- Boë LJ (1997a). Sciences phonétiques et relations forme/substance : 1. Un siècle de ruptures, négociations et réorganisations. *Histoire Épistémologie Langage* 19/I, 5-41.
- Boë LJ (1997b). Sciences phonétiques et relations forme/substance : 2. Du poids de la substance sur la forme aux réarticulations scientifiques. *Histoire Épistémologie Langage* 19/II, 5-25.
- Boë LJ (2001). Perception et diffusion des théories scientifiques dans les sciences de la parole et du langage : erreurs et leurres comme révélateurs. In *Percevoir : monde et langage. Invariance et variabilité du sens vécu* (Keller D, Durafour JP, Bonnot JFP, Sock R, éditeurs) Sprimont, Belgique : Mardaga. pp. 93-113.
- Boë LJ, Granat J, Autesserre D, Perrier P, Peyre E (2007)a. Variation et prédiction de la position de l'os hyoïde de l'homme moderne à Neandertal. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 24(3-4), 257-271.
- Boë LJ, Heim JL, Honda K, Maeda S, Badin P, Abry C (2007)b. The vocal tract of primates, newborn human and Neanderthal : Acoustic capabilities and consequences for the debate on the origin of language. A reply to Philip Lieberman (2007a). *Journal of Phonetics* 35, 564-581.
- Boë LJ, Heim JL, Badin P, Abry C (2004). Les Hommes de Neandertal étaient-ils handicapés du conduit vocal ? *Revue de Primatologie* 6, 219-262.
- Boë LJ, Heim JL, Autesserre D, Badin P. (2005). Prediction of geometrical vocal tract limits from bony landmarks: Modern humans and Neanderthals. In *Speech Production: Models, Phonetic Processes, and Techniques* (Harrington J, Tabain M, editors). New York: Psychology Press. pp. 103-117.
- Boë LJ, Heim JL, Honda K, Maeda S (2002). The potential of Neandertal vowel space was as large as that of modern humans. *Journal of Phonetics* 30, 465-484.
- Boë LJ, Bessière P, Ladjili N, Audibert N. (2008). Simple combinatorial considerations challenge Ruhlen's mother tongue theory. In *The syllable in speech production* (Barbara L. Davis, Zajdo K). New York : Laurence Erlbaum Associates. pp. 63-92.
- Boë LJ, Maeda S. (1997) Modélisation de la croissance du conduit vocal. *Journées d'Études Linguistiques, La voyelle dans tous ses états*, Nantes, 98-105.
- Boë LJ, Perrier P, Guérin B, Schwartz J.L. (1989). Maximal Vowel Space. *Eurospeech* 89 2, 281-284.
- Boë LJ, Schwartz J.L, Granat J, Heim JL, Serrurier A, Badin P, Captier G, Bessière P. (2011). L'émergence de la parole : Aspects historiques et épistémologiques d'une nouvelle réarticulation. *Faits de Langue*, 35, 15-67.
- Boule M. (1913). *L'Homme fossile de La Chapelle-aux-Saints*. Annales de Paléontologie, Paris : Éditions Masson.
- Buchaillard S. (2007). Activations musculaires et mouvements linguaux : modélisation en parole naturelle et pathologique. Doctorat de l'Université Grenoble I.
- Buchaillard S, Perrier P, Payan Y (2009). A biomechanical model of cardinal vowel production: Muscle activations and the impact of gravity on tongue positioning. *Journal of the Acoustical Society of America* 126(4), 2033-2051.
- Captier G, Boë LJ, Barbier G. (2011). Anatomie et croissance du conduit vocal du fœtus à l'enfant de 5 ans. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 28(3-4), 65-73.
- Cheney D. L. Seyfarth R. M. (1990). *How monkeys see the world: Inside the mind of another species*. Chicago: Chicago University Press.
- Chomsky N. (1980). *Rules and representations*. New York : Columbia University Press. Traduction française *Règles et représentations*. Paris : Flammarion, 1985.
- Christiansen MH, Kirby S (2003). Language evolution : consensus and controversies. *Trends in Cognitive Sciences* 7, 7, 300-307.
- Coon C (1962). *The origin of races*. New York : Alfred A. Knopf.

- Corballis MC (2003). From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *The Behavioral and Brain Sciences* 26, 199-260.
- Couly, G., Bennaceur, R. (1998) Biologie du développement de la face et du cou. Acquisitions récentes d'embryologie génétique. *EMC Stom., fasc. 22-001-A10*.
- Couly, G., Coltey, P., Le Douarin, N. (1993) The triple origin of skull in higher vertebrates : A study in quail-chick chimeres. *Development* 117, 409-429.
- Darwin C (1859). *On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London : John Murray. Traduction. française Royer C. *De l'origine des espèces par sélection naturelle ou des lois de transformation des êtres organisés*, 2^e éd. 1866. Paris : Guillaume et Cie, Masson.
- Daynès E (2009). Le visage d'un néandertalien aujourd'hui. In *Les néandertaliens. Biologie et cultures* (Sous la dir. de Vandermeersch B, Maureille B). Paris : Édition du comité des travaux historiques et scientifiques.
- Dell F (1973). *Les règles et les sons*. Paris : Paris : L'Harmattan. 2^e édition 1985.
- Desmet P (1996). La linguistique naturaliste en France (1867-1922). *Orbis Supplementa* 6. Louvain-Paris : Peeters
- Desmet P (2001). Abel Hovelacque et l'école de linguistique naturaliste. De l'inégalité des langues à l'inégalité des races. In *Les politiques de l'anthropologie. Discours et pratiques en France (1860-1940)* (Blanckaert C, éditeur). Paris : L'Harmattan. pp. 55-93.
- Desmet P (2007). Abel Hovelacque et l'école de linguistique naturaliste : l'inégalité des langues permet-elle de conclure à l'inégalité des races ? *Histoire Épistémologie Langage* XXIX, 2, 41-59.
- Dessales JL (2001). L'origine politique du langage. *La Recherche* 341, 31-35.
- Dessalles JL (2000). *Aux origines du langage. Une histoire naturelle de la parole*. Paris : Hermès Science.
- Dessales J.L. Picq P. Victorri B. (2006). *Les origines du langage*. Paris : Le Pommier.
- Dunbar R. (1996). *Grooming, gossip, and the evolution of language*. Cambridge MA : Harvard University Press.
- Dunbar R. (1993). Coevolution of neocortical size, group size and language in humans. *Behavioral & Brain Sciences* 16, 681-735.
- Enard W. Przeworski M. Fisher S.E. Lai C.S.L. Wiebe V. Kitano T. Monaco A.P. Pääbo S. (2002). Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature* 418(22), 869-872.
- Fant G. (1960). *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- Fisher S.E., Marcus G.F. (2006) The eloquent ape: genes, brains and the evolution of language. *Nature Reviews Genetics* 7, 9-20.
- Gärdenfors P. (2003). *How Homo became sapiens : on the evolution of thinking*. Oxford : Oxford University Press.
- Gérard J.M. (2004). Un modèle biomécanique tridimensionnel de la langue. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Gérard J.M., Wilhelms-Tricarico R., Perrier P., Payan Y. (2003). Recent Research Developments in Biomechanics. *Transworld Research Network* 1, 49-64,.
- Ghazanfar A.A., Maier J.X., Kari L. Hoffman K.L., and Nikos K. Logothetis N.K. (2005). Multisensory Integration of Dynamic Faces and Voices in Rhesus Monkey Auditory Cortex. *The Journal of Neuroscience* 25(20), 5004-5012.
- Gilad I, Nissan M (1985). Sagittal evaluation of elemental geometrical dimensions of human vertebrae. *J. Anat.* 143, 115-120.
- Goldstein UG (1980). An articulatory model for the vocal tract of the growing children. Thesis of Doctor of Science, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- Gopnik M (1990). Feature-blind grammar and dysphasia. *Nature* 344, 715.
- Gould SJ (1980). *The panda thumb's. More reflections in natural history*. New York : W.W. Norton Co. Trad. française *Le pouce du panda. Les grandes énigmes de l'évolution*. Paris : Grasset, 1982.
- Gould SJ (1981). *The mismeasure of Man*. New York : Norton & Company. Trad. française *La mismeasure de l'Homme*. Paris : Odile Jacob. 1996.
- Gould SJ, Vrba ES (1982). Exaptation; a missing term in the science of form. *Paleobiology* 8, 4-15.

- Granat J, Peyre E, Boë LJ (2006). Os hyoïde et larynx chez Homo. Position estimée par la biométrie. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 24(3-4), 243-256.
- Hagège C (1985). *L'homme de paroles*. Paris : Fayard.
- Haesler S, Rochefort C, Georgi B, Licznarski P, Osten P, Scharff C (2007). Incomplete and inaccurate vocal imitation after knockdown of FoxP2 in songbird basal ganglia nucleus Area X. *PLoS Biol* 5, 12, e321. doi:10.1371/journal.pbio.0050321
- Haesler S, Wada K, Nshdejan A., et al. (2004). FoxP2 expression in avian vocal learners and non-learners. *The Journal of Neuroscience* 24, 3164-3175.
- Harnad SR, Steklis HD, Lancaster J eds. (1976). Origins and evolution of language and speech. *Annals of the New York Academy* volume 280.
- Hauser M.D., Chomsky Fitch, W.T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve ? *Science* 298(22), 1569-1579.
- Heim JL (1976). *Les hommes fossiles de la Ferrassie*. Tome I. Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine. Paris : Masson.
- Heim JL (1986). La reconstitution du crâne de la Chapelle-aux-Saints. Film 16mm, SFRS. Paris.
- Heim JL (1989). Une nouvelle reconstitution du crâne néandertalien de la Chapelle-aux-Saints. *Compte Rendu à l'Académie des Sciences* 308(série II, 6), 1187-1192.
- Heim JL, Boë LJ, Abry C(2002). La parole à la portée du conduit vocal de l'Homme de Neandertal. Nouvelles recherches, nouvelles perspectives. *Compte Rendu à l'Académie des Sciences C.R. Palevol* 129-134.
- Hjelmlev L (1943). *Omkring sprogteoriens grundlæggelse*. Trad. angl. *Prolegomena to a Theory of Language*. 1961, Wisconsin, The University of Wisconsin Press.
- Hiiemae K. M., Palmer J. B. (2001). Tongue-jaw linkages: the mechanisms of feeding revisited. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 156, 205-217.
- Hiiemae KM, Palmer JB (2003). Tongue Movements in feeding and speech. *Crit Rev Oral Biol Med* 14, 413-429.
- Hiiemae KM, Palmer JB, Medicis SW, Hegener J, Scott Jackson B, Lieberman DE (2002). Hyoid and tongue surface movements in speaking and eating. *Archives of Oral Biology* 47, 11-27.
- Hockett CF, Asher R (1964). The human revolution. *Current Anthropology* 5, 135-168.
- Honda K, Tiede MK (1998). An MRI study on the relationship between oral cavity shape and larynx position. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing ICSLP 2*, 437-440. Sydney, Australia. Australian Speech Science and Technology Association Inc.
- Hoole P., Kroos. C. (1998). Control of larynx height in vowel production. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing ICSLP 2*, 531-534, Sydney, Australia. Australian Speech Science and Technology Association Inc.
- Hopkins WD, Leavens DA (1998). Hand use and gestural communication in chimpanzees (Pan troglodytes). *Journal of Comparative Psychology* 112, 95-99.
- Jablonski N.G., Aiello L.C. éd. (1978). The origin and diversification of language. *Memoirs of the California Academy of Sciences* 24. San Francisco.
- Jean A. (2001). Brain stem control of swallowing : Neuronal network and cellular mechanisms. *Physiological Reviews* 81(2), 929-969.
- Johansson S. (2005). *Origins of language. Constrains on hypotheses*. Amsterdam: John Benjamins.
- Kamina P. (2009). *Anatomie clinique Tome 2, Tête, cou, dos*. Paris : Maloine.
- King BJ (1996). Syntax and language origins. *Language & Communication* 16, 193-203.
- Kluender K.R., Diehl R.L, Killeen P.R. (1987). Japanese quail can learn phonetic categories. *Science* 237, 4819, 1195-1197.
- Kuhl PK, Miller JD (1975). Speech perception by the chinchilla: Voiced-voiceless distinction in alveolar plosive consonants. *Science* 190, 69-72.
- Landau M (1991). *Narratives of human evolution*. New Haven : Yale University Press.
- Lanier RR Jr (1939). The presacral vertebrae of American white and negro males. *Am. J. Phys. Anthropology* 25, 341-420.
- Lapointe J, McFarland DH (2004). Pourquoi les orthophonistes devraient-ils d'intéresser à la dysphagie ? *Fréquences* 16(3), 22-25.

- Lapouge G Vacher de (1909). *Race et milieu social. Essais d'anthroposociologie*. Paris : Marcel Rivière.
- Lashley KS (1951). The problem of serial order in behavior. In *Cerebral mechanisms in behavior* (Jeffress LA, ed.) New York : Wiley. pp. 112-136.
- Le Double AF (1912). *Traité des variations de la colonne vertébrale de l'Homme et de leur signification au point de vue de l'anthropologie zoologique*. Paris : Vigot Frères éditeurs.
- Leavens DA (2004). Manual deixis in apes and humans. *Interaction Studies* 5, 387-408.
- Leksan I, Marcikic M, Nikolic V, Radic R, Selthofer R (2005). Morphological dimorphism of hyoid bone: New approach. *Coll. Antropol.*, 1, 237-242.
- Lemasson A, Barbu S (2011). L'origine phylogénétique du langage : apports des travaux récents sur la communication vocale des cercopithèques. *Faits de Langue*, 35, 69-83.
- Leroi-Gourhan A (1964). *Le geste et la parole. Technique et langage*. Paris : Albin Michel.
- Lieberman P (1984). *The biology and evolution of language*. London: Harvard University Press.
- Lieberman P (2007). Current views on Neanderthal speech capabilities: A reply to Boë et al. (2002). *Journal of Phonetics* 35, 552-563.
- Lieberman P, Crelin ES (1971). On the speech of the Neanderthal man. *Linguistic Inquiry* 2, 2, 203-222.
- Lieberman P, McCarthy R (2007). Tracking the evolution of language and speech. *University of Pennsylvania Museum, Philadelphia* 49, 2, 15-20.
- Liguoro D, Vandermeersch B, Guérin J (1994). Dimensions of cervical vertebral bodies according to age and sex. *Surg. Radiol. Anat.* 16, 149-155.
- Liljencrants J, Lindblom B. (1972). Numerical simulations of vowel quality systems: The role of perceptual contrast. *Language* 48, 839-862.
- Lindblom B (1990) On the notion of 'possible speech sound'. *J. Phonetics* 18, 135-152.
- Lock A, Peters CR eds (1999) *Handbook of human symbolic evolution*. Oxford : Blackwell.
- MacNeilage PF (1998). The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences* 21, 499-546.
- MacNeilage PF (2010). *The origin of speech*. Oxford : Oxford University Press.
- MacNeilage PF, Davis BL (2000). Deriving speech from non speech: a view from ontogeny. *Phonetica* 57, 284-296.
- MacNeilage PF, Davis BL (2001). Motor mechanisms in speech ontogeny: phylogenetic, neurobiological and linguistic implications. *Current Opinion in Neurobiology* 11, 696-700.
- MacNeilage PF, Davis BL (2009). The Frame/Content theory of evolution of speech. In *Vocalize to Localize* (Abry C, Vilain A, Schwartz JL, ed). Amsterdam-Philadelphia : John Benjamins Publishing Company. pp 133-157.
- McGown TA, Keith A (1939) *The stone age of Mount Carmel II: The fossil human remains from the Levallois-Mousterian*. Oxford : Clarendon Press.
- Marcus GF, Fisher SE (2003). FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language ? *Trends in Cognitive Science* 7, 257-262.
- Martin RE, MacIntosh BJ, Smith RC, Barr AM, Stevens TK, Gati JS, Menon RS (2004). Cerebral areas processing swallowing and tongue are overlapping but distinct : A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neurophysiology* 92, 2428-2443.
- Martinez I, Arsuaga JL, Quam R , Carretero JM, Gracia A, Rodriguez L (2008). Human hyoid bones from the middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 54, 118-124.
- McCown TA, Keith A (1939). *The stone age of Mount Carmel II : The fossil human remains from Levallois-Mousterian*. Oxford : Clarendon Press.
- McFarland DH, Tremblay P (2006). Clinical implications of cross-system interactions. *Semin Speech Lang.* 27, 4, 300-9.
- McFarland DH, Tremblay P (2007). Implications cliniques des interactions entre les systèmes sensorimoteurs: Parole et déglutition. *Fréquences* 18(3), 12-16.
- McNeil LD (1996). Homo inventans : the evolution of narrativity. *Language & Communication* 16, 331-360.

- Meguerditchian A, Vauclair J (2006). Baboons communicate with their right hand. *Behavioural Brain Research* 171, 170-174.
- Milner JC (1983). La constitution du fait en Linguistique. In *Histoire et Linguistique* (Sous la direction de Achard P, Gruenais MP, Jaulin D) Paris : Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme. pp. 177-190.
- Montagu A (1976). Toolmaking, hunting, and the origin of language. In *The origin and diversification of language (Memoirs of the California Academy of Sciences 24*. San Francisco). pp. 89-115.
- Origgi G (2001). Interpretare il linguaggio e interpretare gli altri : una o due teorie ? *Sistemi Intelligenti XIII*, 171-188.
- Ostry DJ, Vatikiotis-Bateson E, Paul L, Gribble PL (1997). An examination of the degrees of freedom of human jaw motion in speech and mastication. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 40(6), 1341-1351.
- Patou-Mathis M (2006). *Neanderthal une autre humanité*. Paris : Perrin.
- Payan Y, and Perrier P (1997). Synthesis of V-V sequences with a 2D biomechanical tongue model controlled by the equilibrium point hypothesis. *Speech Communication* 22, 185-205.
- Pernkopf E (1980). *Atlas of topographical and applied human anatomy. Head and neck*. Baltimore-Munich : Urban & Schwarzenberg & Saunders.
- Peterson G E, Barney H L (1952). Control methods used in a study of vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 24, 175-184.
- Popper K (1985). *Conjectures et réfutations. La croissance du savoir scientifique*. Paris : Payot.
- Premack D (2004). Is language the key of human intelligence ? *Science* 303, 318-320.
- Premack D G, Woodruff G (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind ? *Behavioral and Brain Sciences* 1, 515-526.
- Rastier F (2006). De l'origine du langage à l'émergence du milieu sémiotique. *Marges Linguistiques* 11, 297-326. <http://www.marges-linguistiques.com>
- Rizzolatti G, Arbib, MA (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences* 21(5), 188-194.
- Rodríguez L, Cabo LL, Egocheaga JE (2003). Breve nota sobre el hioides Neandertalense de Sidron (Pilo-na, Asturias). In *Antropología y Diversidad* (Aluja MP, Malgosa A, Nogués RM eds.) vol. 1. Edicions Bellaterra, Barcelona, Spain. pp. 484-493.
- Ruhlen M (1994). *The origin of language. Tracing the evolution of the mother tongue*. New York : John Wiley. Trad. fse *L'origine des langues*. 1997. Paris : Belin.
- Schepartz LA (1993). Language and modern human origins. *Yearbook of Physical Anthropology* 36, 91-126.
- Schick KD, Toth N (1993). *Making silent stones speak*. London : Phoenix.
- Schwartz JL (2010). Éléments pour une morphogénèse des unités du langage. In *Qu'appelle-t-on aujourd'hui les sciences de la complexité ? Langage, marché, réseaux, territoires* (sous la dir. de Weisbuch G, Zwirn H). Paris: Vuibert. Pp15-35.
- Schwartz JL, Boë LJ, Vallée N, Abry C (1997). The Dispersion-Focalization theory of vowel systems. *Journal of Phonetics*, 25, 255-286.
- Schwartz JL, Boë LJ, Badin P, Sawallis T (2011). Grounding plosive place features in the perceptuo-motor substance of speech communication. *J. of Phonetics* (In press)
- Serrurier A, Barney A, Badin P, Boë LJ, and Savariaux C (2008). Comparative articulatory modelling of the tongue in speech and feeding. *8th International Seminar on Speech Production, ISSP8* (Strasbourg, France), 325-328.
- Serrurier A, Badin P, Barney A, Boë LJ, Savariaux C (2011). The Tongue in speech and feeding: comparative articulatory modelling (soumis).
- Slocombe KE, Zuberbühler K (2005). Functionally Referential Communication in a Chimpanzee. *Current Biology* 15, 1779-1784.
- Sperber D (1996). *La contagion des idées. Théorie naturaliste de la culture*. Paris : Odile Jacob.
- Sperber D. (2000). Metarepresentations in a evolutionary perspective. In *Metarepresentations*. Oxford : Blackwell.
- Sperber D, Origgi G (2005). Pourquoi parler, comment comprendre. In *Aux origines des langues et du langage* (Hombert JM éd.) Paris : Fayard. pp. 237-253.

- Sperber D, Wilson D (1986). *Relevance : Communication and cognition*. Oxford : Blackwell.
- Stoczkowski W (2001). *Anthropologie naïve. Anthropologie savante*. Paris : CNRS éditions.
- Szunyoghy A, Fehèr G (1996) *Grand cours d'anatomie artistique. Homme, animaux, anatomie comparée*. Köln : Könenmann Verlagsgesellschaft mbH.
- Takemoto H (2001). Morphological analyses of the human tongue musculature for three-dimensional modeling. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 44, 95–107.
- Takemoto H (2008). Morphological analyses and 3D modeling of the tongue musculature of the chimpanzee (Pan troglodytes). *American Journal of Primatology* 70, 966–975.
- Thomas H (2002). *Le mystère de l'homme de Pildown*. Paris : Belin.
- Tomasello M (1999). The human adaptation for culture. *Annual Review of Anthropology* 28, 509-529.
- Tomasello M, Carpenter M, Call J, Behne T, Moll H (2005). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences* 28, 675–735.
- Trinkaus E (1983). *The Shanidar Neanderthal*. New York : Academic Press.
- Troubetzkoy, N.S. (1970) *Principes de Phonologie*. Paris, Edition Klincksieck, 1^{ère} édition, 1949.
- Vargha-Khadem F, Gadian DG, Copp A, Mishkin M (2005). FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience* 6, 131-138.
- Vargha-Khadem F, Watkins K, Alcock K, Fletcher P, Passingham R (1995). Praxic and nonverbal cognitive deficits in a large family with a genetically transmitted speech and language disorder. *Proc. National. Academy of Sciences USA* 92, 930-933.
- Victorri B (1999). La place de la fonction narrative dans l'émergence du langage et la structure des langues. *Théorie Littérature Enseignement* 17, 23-38.
- Victorri B (2005). Les « mystères » de l'émergence du langage. In *Aux origines des langues et du langage* (Hombert JM, éd.). pp. 212-234.
- Vilain A (2001). Apport de la modélisation des degrés de liberté articulatoires à l'étude de la coarticulation et du développement de la parole. Doct. Sciences du Langage, Université Stendhal, Grenoble.
- Vorperian HK, Kent RD, Lindstrom MJ, Kalina CM, Gentry LR, Yandell BS (2005). Development of vocal tract length during early childhood: A magnetic resonance imaging study. *Journal of the Acoustical Society of America* 117, 1, 338-350.
- White RK (1999). On the évolution of human socio-cultural systems. In *Handbook of Human Symbolic Evolution* (Lock A., Peters CR editors). pp. 239-287.
- Wildgen W (2004). The evolution of human language : Scenarios principles and cultural dynamics. Amsterdam : Benjamins.
- Wynn TG (1999). The evolution of tools and symbolic behaviour. In *Handbook of Human Symbolic Evolution* (Lock A., Peters CR editors). Wiley-Blackwell Publishers. pp 263-287.
- Wilhelms-Tricarico R (1995). A biomechanical modeling of speech production: Methods for modeling soft-tissue articulators. *Journal of the Acoustical Society of America* 97, 3805-3898.

Notes

1 Cette recherche a été financée en partie par : Programme Pluri-Formations Études Culturelle, Langues Lettres et Langage, Maison des Sciences de l'Homme – Alpes (resp. L.J. Boë, C. Abry) : La représentation et la diffusion des idées scientifiques dans les sciences de la parole et du langage : erreurs et leures comme révélateurs. 2000-2004. Programme Pluri-Formations Études Culturelle, Langues Lettres et Langage Université Stendhal – MSH (resp. C. Abry, L.J. Boë, J.L. Schwartz) : La propagation des idées scientifiques dans les sciences de la parole et du langage. Anthropologie, génétique et linguistique, 2004-2008. OHLL Origine de l'Homme du Langage et des Langues (resp. J.M. Hombert), CNRS, <http://www.ohll.ish-lyon.cnrs.fr/> 2000-2004. OMLL Origin of Man Language and Languages (resp. J.M. Hombert), European Science Foundation, EUROCORES program, <http://www.esf.org/omll> <http://www.esf.org/activities/eurocores/completed-programmes/omll/projects.html> 2004-2007. Évaluation de la congruence entre évolutions génétique, morphologique et linguistique : modèles et méthodes (resp. P. Darlu) ; Contrôle orofacial dans la communication chez les primates humains et non humains : Neandertal, le singe et l'homme, resp. J.L. Schwartz ; Orofacial control in communication in human and non-human primates, resp. J.L. Schwartz). The Hand to Mouth Research Network (resp. J. Steele) European commission, NEST initiative <http://www.handtomouth.ucl.ac.uk/> SkullSpeech (resp. P. Perrier

et L.J. Boë) ANR project 2008-2011. L'ensemble des données radiographiques des études longitudinales a été acquis grâce à Alain Froment, François de Brondeau, et surtout Daniel Lieberman avec la courtoisie de l'American Association of Orthodontists. Pour les mesures des vertèbres cervicales à partir de radiographies, nous remercions Denis Autesserre, Djillali Hadjouis, Fleur Letellier Willemin, Huguette Roux. Philippe Menecier a mis gracieusement à notre disposition des crânes de la collection du Musée de l'Homme, à Paris. Les données du crâne de Taza1 nous ont été transmises par Djillali Hadjouis. Nous sommes en dette envers Frédéric Berthommier, Marc Dymetman, Hélène Mathéry pour la documentation, les suggestions et les critiques constructives, à Sylvain Auroux pour les aspects historiques (cf. références dans la section bibliographie), à Roland Benoît pour la génétique, à Élisabeth Daynès pour la reconstitution de Neanderthal, à Sophie Jacopin pour l'infographie des trois voyelles cardinales.

Pour citer cet article

Référence électronique

Louis-Jean Boë, Jean Granat, Jean-Louis Heim, Jean-Luc Schwartz, Pierre Badin, Guillaume Barbier, Guillaume Captier, Antoine Serrurier et Nicolas Kielwasser, « Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole », *Revue de primatologie* [En ligne], 3 | 2011, document 14, mis en ligne le 15 octobre 2011. URL : <http://primatologie.revues.org/797>

À propos des auteurs

Louis-Jean Boë

GIPSA-lab, CNRS, Université de Grenoble. 961 rue de la Houille Blanche BP 46F - 38402 Grenoble Cedex

Auteur pour la correspondance : louis-jean.boe@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Jean Granat

Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS, Paris

Contact : jean@granat.fr

Jean-Louis Heim

Muséum National d'Histoire Naturelle CNRS, IPH, Paris

Contact : heim.jeanlouis@gmail.com

Jean-Luc Schwartz

GIPSA-lab

Contact : jean-luc.schwartz@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Pierre Badin

GIPSA-lab

pierre.badin@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Guillaume Barbier

GIPSA-lab

Contact : guillaume.barbier@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Guillaume Captier

Laboratoire d'Anatomie, Faculté de Montpellier

Contact : gcaptier@free.fr

Antoine Serrurier

École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris

Contact : antoine.serrurier@ensam.eu

Nicolas Kielwasser

Osteograph, Cluses

Contact : nkielwa@free.fr

Droits d'auteur

© SFDP

Résumé / Abstract

La fin du XX^e et le tout début de ce siècle révèlent une véritable réarticulation des recherches dans le domaine de l'émergence de la parole et du langage. Le naturalisme, qui est au centre de

cette approche, se propose de décrire les relations entre la biologie (au sens très large du terme) d'une part, la parole et le langage, d'autre part, par une accumulation d'hypothèses, de données et de preuves formulées et établies grâce à de multiples collaborations interdisciplinaires.

Comme pour les travaux sur l'origine de l'Homme (la découverte d'un nouveau fossile entraînant souvent une remise en question des théories précédentes), on assiste à un foisonnement théorique qui entraîne parfois des développements très hypothétiques, s'appuyant sur des résultats fragiles et sur trop peu de données, proposés dans des disciplines connexes mais non maîtrisées ou trop simplifiées. C'est pourquoi les bilans réguliers, les mises en perspectives critiques ne nous semblent pas superflus.

Dans un premier temps nous proposerons une classification qui permet une lecture des différentes théories proposées depuis un demi-siècle (théorie *push-pull*). Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible d'inférer quand nos ancêtres, voire nos lointains ont acquis la faculté de langage et de parole : le contrôle des articulateurs, la coordination entre le larynx et le conduit vocal, la phonologie, la syntaxe, la sémantique et la récursivité. Parmi les questions qui se posent, il en est une qui reste sans réponse : pourquoi notre espèce est actuellement la seule à posséder langue et parole ? De nombreuses questions font partie des *problèmes mal posés*, comme le sont les questions du type: Quelle(s) langue(s) parlaient nos prédécesseurs ? Possédaient-ils une langue unique ? En effet, on ne dispose pas (pour le moment) de suffisamment de données pour pouvoir y répondre. Peut-être même que ces questions ne trouveront pas de solution. Actuellement, il est quand même possible de répondre à la question suivante : si nous supposons que nos ancêtres (et cousins lointains) contrôlaient leur larynx et leur conduit vocal de la même manière que les Hommes actuels, est-ce que la géométrie de leur conduit leur permettait de produire les structures sonores qui sont pratiquement présentes dans toutes les langues du monde ?

Nous présenterons ensuite nos travaux qui participent à la nouvelle réarticulation avec une approche véritablement axée sur la pluridisciplinarité. Ils s'inscrivent dans le domaine des relations entre la morphologie des organes de la production de la parole et son contrôle. Nous présentons de nouveaux résultats concernant la croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte puis des reconstructions du conduit vocal pour des fossiles qui couvrent la période de 10.000 ans à un million et demi d'années BP (*Before Present*). À partir du crâne, de la mandibule et des vertèbres cervicales nous essaierons de manière plausible (1) de localiser l'os hyoïde, support de la langue, et la position de la glotte, (2) de reconstituer un conduit vocal, à l'aide d'un modèle articuloire, (3) d'induire les possibilités acoustiques de tous ces conduits. En combinant phylogenèse et ontogenèse il est possible de représenter l'anatomie du tractus en synthétisant deux remodelages qui renvoient à l'ontogenèse et à la phylogenèse. Nous montrerons que tous ces conduits ont les mêmes potentialités acoustiques, ils peuvent produire les voyelles /i a u/ qui sont pratiquement présentes dans toutes les langues du monde : un triangle à l'intérieur duquel se situent toutes les autres voyelles. Quand aux consonnes les plus fréquentes /p t k/, /b d g/ elles sont aussi à la portée de tous ces conduits vocaux à partir de gestes de fermeture dans des régions précises (lèvres, zone alvéodentale, zone vélaire). De nouvelles pistes de recherche sont proposées qui tendraient à montrer qu'il y a vraisemblablement plusieurs centaines de milliers, voire plusieurs millions d'années que le conduit vocal présente une morphologie favorable à l'émergence et à la production de la parole. Un cadre est posé dans lequel les capacités orofaciales nécessaire à la parole pourraient être reliées au mécanisme précurseur d'ingestion (mastication-déglutition).

Mots clés : fossils, vocal tract, speech, fossiles, paleontology, language origin, cervical vertebrae, vertèbres cervicales, parole, paléontologie, os hyoïde, conduit vocal, origine du langage

Ontogenetic and phylogenetic considerations concerning the origin of speech

The end of the XXth century and the beginning of this century saw a reorganization of the researches in the field of speech and language emergence (SLE). Naturalism is the kernel of this new approach. It consists in describing the relations between biological aspects (in every sense of the word) on the one hand and speech and language, on the other hand, by an

accumulation of hypotheses and evidence derived from a huge range of data collected thanks to interdisciplinary collaborations.

As is the case for researches on the origin of Man, a theoretical profusion of hypotheses has arisen which sometimes leads to very hypothetical developments, based on fragile results and on too little data, and proposed in related but not fully mastered or too much simplified disciplines. This is why regular critical overviews do not seem superfluous.

First, we propose a classification (push and pull theory) that provides a new reading of the various theories which have been proposed for half a century. In the present state of knowledge it is not possible to infer when our ancestors acquired the *Faculty of Speech and Language and Speech*: control of speech articulators, coordination between larynx and vocal tract, phonology, syntax, semantic and recursivity. Among old unsolved questions: Why is our species alone in having speech and language? Many others questions are (for the moment?) ill posed problems: we do not have sufficiently data to answer. Perhaps these questions will remain unsolved. But we think that the following question can be solved: If we suppose that our ancestors (and distant cousins) controlled their larynx and vocal tract in the same way as present-day humans, did the geometry of their vocal tract allow them to produce the universal sound structures of the languages spoken today? We analyzed 31 skulls from now to 1.5 Ma (millions years) BP (Before Present) for fossil hominids available at the *Musée de l'Homme* in Paris or in the literature: (1) 10-30 ka BP: modern humans: Paleolithic; (2) 90-200 ka BP: anatomically modern humans; (3) 45-90 ka BP: Neanderthals; (4) 1.5 Ma BP: *Homo ergaster*; These skulls are all well kept and possess a jaw in the majority of cases but the vertebral column has been reconstituted. We attempt to: (1) Localize hyoid bone and then glottis position; (2) Reconstitute a vocal tract model in a plausible way using an articulatory model; (3) Quantify the acoustic capabilities of this reconstituted vocal tract. For this purpose, we combine phylogenesis and ontogenesis. We are in a position to state that our ancestors and distant cousins were equipped with a vocal tract that could produce the same variety of vowel sounds as we can today: the vowels /i a u/. The vocal tract morphology has been favorable to the emergence and production of speech since several hundreds of thousands of years. But how to know to what extent they mastered the control skills needed to produce speech? New lines of research are proposed in which orofacial abilities necessary to the emergence of speech are linked to a precursor mechanism dedicated to feeding (masticating-swallowing movements).

Thématique : Paléontologie