

# Charpente osseuse et conduit vocal

## Variabilité et relations structurelles

### Premiers résultats

Louis-Jean Boë<sup>1</sup>, Denis Beautemps<sup>1</sup>, Roger Lichtenberg<sup>2</sup>, Jean-Louis-Heim<sup>3</sup>,  
Fleur Letellier-Willemin<sup>2</sup>, Martine Lichtenberg<sup>2</sup>

1. ICP - UMR CNRS INPG - Université Stendhal

Tél.: ++33 (0)4 76 82 43 38 - Fax : ++33 (0)4 76 82 43 38

Mél : boe@icp.inpg.fr, beautemps@icp.inpg.fr, http://www.icp.inpg.fr

2. AlphaNecropolis, Paris, Mél : roger.j.g.lichtenberg@wanadoo.fr, f.letellier.willemin@free.fr

3. Musée de l'Homme, Paris, Mél: heim@mnhn.fr

#### ABSTRACT

In the field of speech research, vocal tract is primarily described in terms of soft tissues: glottis, pharyngeal wall, velum, tongue and lips, without any reference to bony structures. Only the incisors and the hard palate are used as fixed landmarks. Nevertheless, the cranium appears to be the basis on which are located the hyoid bone and the larynx, on which, in turn, are inserted vocal folds. Ursula Goldstein (1980) dissertation clearly showed the benefit of data gathered on growth of bony structures in modeling vocal tract growth. Exploiting a radiographic database including 22 subjects (15 men and 7 women), we start to analyze the structural relationships among landmarks widely used in physical anthropology, radiology and forensic anthropology and we evaluate the range of variability related to sex and subject. This work is the first step of a larger project aimed at reconstructing vocal tract from a cranium, modern or fossilized. It is also to be considered in the framework of language emergence. A multidisciplinary research team participated in this project, including radiologists, Egyptologists, physical anthropologists and speech specialists.

#### 1. INTRODUCTION

Dans les manuels de référence consacrés à la production de la parole, les descriptions de la source laryngée et du conduit vocal présentent les parties molles sans véritablement faire référence à la disposition des structures osseuses qui en assurent l'architecture. Les vertèbres cervicales et l'os hyoïde – du fait de sa visibilité sur les radiographies – ne sont évoqués que pour situer approximativement la position du larynx et des cordes vocales. Mais, en fait, l'hyoïde a la particularité de ne pas être articulé avec le squelette : il n'est relié à la structure crânio-rachidienne que par des muscles et des ligaments. Seules les dents supérieures et le palais dur peuvent constituer des repères explicites. La thèse de U. Goldstein [Gol80] a bien montré tout le parti que l'on pouvait tirer des mesures osseuses obtenues à partir de radiographies du crâne en fonction de l'âge et du sexe pour en inférer un modèle de croissance du conduit vocal. À la suite des propositions avancées par Honda & Tiede [Hon98] il nous a semblé important de compléter les bases d'une estimation de la position de points de référence du conduit vocal à partir de repères osseux. Nous nous

inscrivons ainsi dans une démarche d'anthropologie de la parole. Validée, une telle méthodologie pourrait permettre de proposer la reconstruction du conduit vocal à partir d'un crâne sec, fossile ou non et donc d'apporter des éléments de discussion dans le débat sur l'émergence de la parole [Boë02].

#### 2. LES DONNÉES

Pour des études sur la parole, il n'est pas aisé de pouvoir disposer actuellement de données radiologiques et, qui plus est, correspondant à une population relativement homogène. Aussi, a été saisie l'opportunité d'utiliser des radiographies de momies égyptiennes grâce à une collaboration pluridisciplinaire mise en place, dans le cadre du projet OHLL du CNRS *Origine de l'Homme, du Langage et des Langues* entre le Musée de l'Homme (anthropologie physique), l'équipe AlphaNecropolis (égyptologie) et l'ICP (parole).

Depuis 1897, c'est-à-dire tout juste deux ans après la découverte des rayons X, les radiographies de momies de musées se sont multipliées, compte tenu de l'avantage non destructif de leur mise en œuvre [Dun98 ; Ikr98]. Mais la provenance et la datation de ces momies sont souvent douteuses, voire inconnues. En 1982, une nouvelle approche – l'étude « des momies de terrain » – a été initiée par R. Lichtenberg (AlphaNecropolis) et C. Roubet (Musée de l'Homme) : il s'agit d'installer le matériel radiologique à proximité de nécropoles précisément datées [Dun98] pour pouvoir réaliser les clichés sur place. Une série de campagnes de fouilles, menée entre 1994 et 1997, a permis ainsi à l'équipe AlphaNecropolis d'étudier, sous la responsabilité de Françoise Dunand, une population qui vivait, en Égypte, à l'époque ptolémaïque tardive et romaine (–200, + 200) à Aïn Labakha, dans la Grande Oasis, à une quarantaine de kilomètres au nord de la ville de Kharga, dans le désert libyen. La nécropole est située dans une falaise constituée de couches alternées de grès et de marne. Les tombes ont été creusées dans le rocher, à un niveau très supérieur à celui des champs cultivés, donc à l'abri de l'humidité, ce qui constitue d'excellentes conditions de conservation pour les corps momifiés. Plus de 20 % d'entre eux étaient pratiquement intacts, avec préservation de la quasi-totalité de leur bandelette (Figure 1). Il s'agit d'une population relativement homogène qui comporte des hommes, des femmes et, ce qui n'est pas courant, des enfants, même si, en l'occurrence, ils sont moins nombreux.



**Figure 1** : Une momie de l'oasis de Kharga.

Deux millénaires représentent très peu dans l'évolution humaine : les données ainsi recueillies correspondent à celles d'un échantillon contemporain. L'équipe AlphaNecropolis a installé à Kharga, dans les locaux du service de l'Organisation des Antiquités Égyptiennes, une chaîne radiologique complète, de type portable, permettant la prise de vue et le développement. Les clichés que nous avons retenus sont des téléradiographies, prises à une distance d'environ trois mètres. Une mire plombée, placée dans le plan sagittal de la momie, permet de calibrer les mesures. Parmi les documents réalisés par R. Lichtenberg (près de 160 sujets), ont été sélectionnées les radiographies de la tête d'adultes (15 hommes et 7 femmes) : elles ne présentaient pas de disharmonies de la lordose cervicale consécutives à des manœuvres des embaumeurs. Une attention toute particulière a été portée sur la présence de l'os hyoïde. Placées sur un négatoscope, les radiographies ont été photographiées, puis les tirages-papier ont été numérisés. Mieux, pour la prochaine campagne de mesures, les radiographies seront directement saisies avec un appareil de photo numérique.

### 3. LES REPERES ANATOMIQUES

Une liste générale de points de repère anatomiques et géométriques a été établie pour pouvoir être utilisée avec des documents obtenus par (télé)radiographie ou xérogaphie (Rx), par imagerie par résonance magnétique (IRM) ou par photographies de crânes secs (Cr). Ces points correspondent en partie, à des références choisies en anthropologie physique [Brow94 ; Mir96], radiologie [Gol80], orthodontie [Sch80], identité criminelle [Yas93 ; Vig99] et en parole [Gol80, Hon98] (Fig. 2-3) :

Atlas (le point le plus antérieur du corps) : première vertèbre cervicale, utilisable pour repérer la paroi nasopharyngale (Rx, IRM)

Basion (ou base du clivus) : le bord antérieur du trou occipital ; repérable sur une radiographie par un expert (Rx, IRM)

Bregma : repère osseux du sommet du crâne, à la jonction entre la suture sagittale séparant les deux pariétaux et la suture transversale frontopariétale (Cr)

Épines nasales antérieure et postérieure : extrémités du palais dur ; points de repère de Honda & Tiede (Rx)

Glabelle : protubérance frontale qui permet, quand elle est présente, de porter un diagnostic sur le sexe (Rx, Cr, IRM)

Glotte : délimitation de l'extrémité laryngale du conduit vocal (Rx, IRM)

Gnathion : repère mandibulaire ; utilisé par Honda et Tiede (Rx, Cr, IRM)

Gonion : repère mandibulaire postérieur (Rx, Cr, IRM)

Hyoïde (le point le plus antérieur) : repère osseux associable au larynx (Rx, IRM)

Incisives (supérieure et inférieure) : repères pour la délimitation de la partie antérieure du conduit vocal (Rx, Cr)

Infradental : point les plus antérieur et le plus haut, entre les incisives inférieures (Rx, Cr)

Inion : point le plus proéminent de la protubérance externe occipitale (Rx, Cr)

Lambda : repère osseux situé à l'intersection de l'écaïlle de l'occipital et des pariétaux (Cr)

Lèvres (point le plus avancé des lèvres supérieure et inférieure) : extrémité antérieure du conduit vocal (Rx, IRM)

Menton : point le plus bas de la partie antérieure de la mandibule (Rx, Cr, IRM)

Nasion : repère osseux situé à l'intersection de la suture nasofrontale avec le plan sagittal médian (Rx, Cr, IRM)

Nasospinal : repère situé dans le plan sagittal médian sur une tangente horizontale aux bords de l'ouverture nasale ; utilisé par Honda & Tiede (Rx, Cr, IRM)

Opisthocranion : point du crâne le plus éloigné du nasion, repère géométrique (Rx, Cr, IRM)

Orbital : point le plus bas de l'orbite ; permet, avec le porion, de déterminer le plan de Frankfort (Os, Rx)

Pharyngal : point de la paroi naso-pharyngale au niveau de l'atlas ; utilisé par Honda & Tiede (Rx, IRM)

Pogonion : homologue du gonion pour la partie antérieure de la mâchoire (Rx, Cr, IRM)

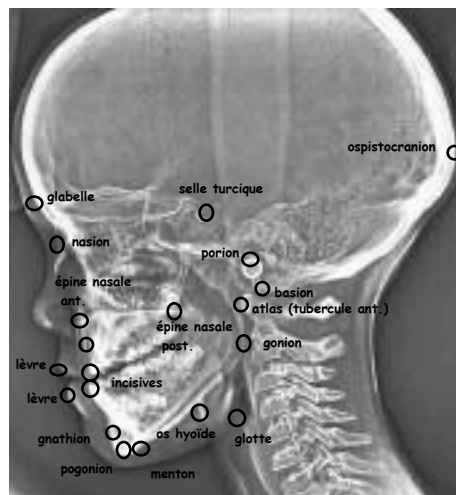
Porion : point le plus élevé du conduit auditif ; très peu visible sur les radiographies, à moins d'avoir été matérialisé ; repérable sur les crânes (Cr)

Prosthion : point les plus antérieur et le plus bas entre les incisives supérieures (Rx, Cr)

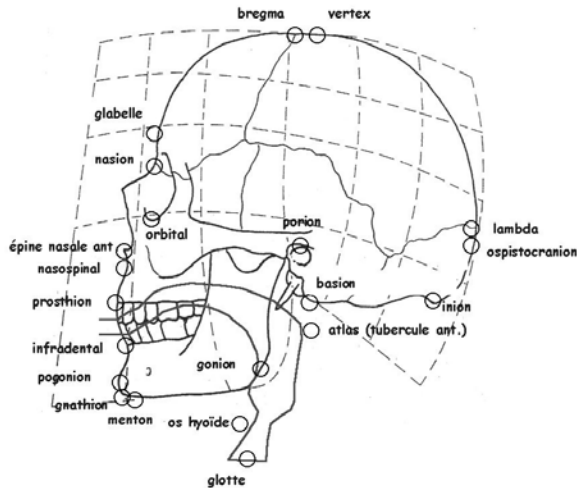
Selle Turcique (centre) : dépression transverse à la surface supérieure du corps de l'os sphénoïde ; point de repère caractéristique sur une radiographie (Rx)

Vertex : point le plus élevé du crâne par rapport à un plan de référence horizontale, repère géométrique (Rx, Cr, IRM).

Cette liste reflète la volonté de synthétiser les apports de l'équipe pluridisciplinaire que nous avons constituée. Avec ces points il est possible de tracer des plans de référence (nasion-selle turcique, Frankfort, palatal, mandibulaire), de calculer un nombre important de distances (entre ces points, entre certains d'entre eux et les plans de référence), d'angles et d'indices (rapports entre des distances). Ces résultats seront comparés avec ceux dont on dispose pour l'anthropologie physique, l'orthodontie, la parole et l'identité criminelle.



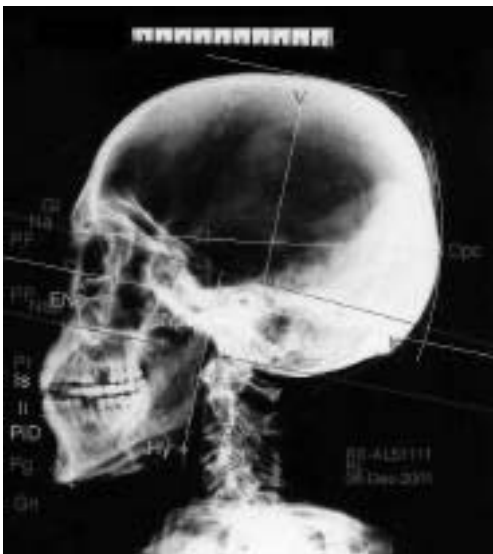
**Figure 2** : Une partie des repères anatomiques sur une xérogaphie (cédit photographique Denis Autesserre).



**Figure 3 :** Les repères positionnés sur un crâne sec, avec un conduit vocal schématisé reconstruit.

#### 4. L'ACQUISITION DES DONNÉES

Un logiciel de mesures a été spécialement mis au point (en langage Matlab®) au sein de l'équipe. Il permet à des anthropologues, radiologues, spécialistes de parole de saisir des points de repères sur des radiographies, des IRM ou des photos de crânes secs. Selon le type de ces données, une liste de points est proposée, mais l'utilisateur peut facilement la modifier (cases à cocher). L'acquisition des repères géométriques est facilitée par une aide graphique. Pour le pointage de l'opisthocranion un arc de cercle centré sur le basion est tracé ; pour le vertex c'est une parallèle à un plan de référence (plan de Frankfort, ou à défaut plan palatin) qui est présentée. Pour cette étude, l'ensemble des données a été saisi par R. Lichtenberg.

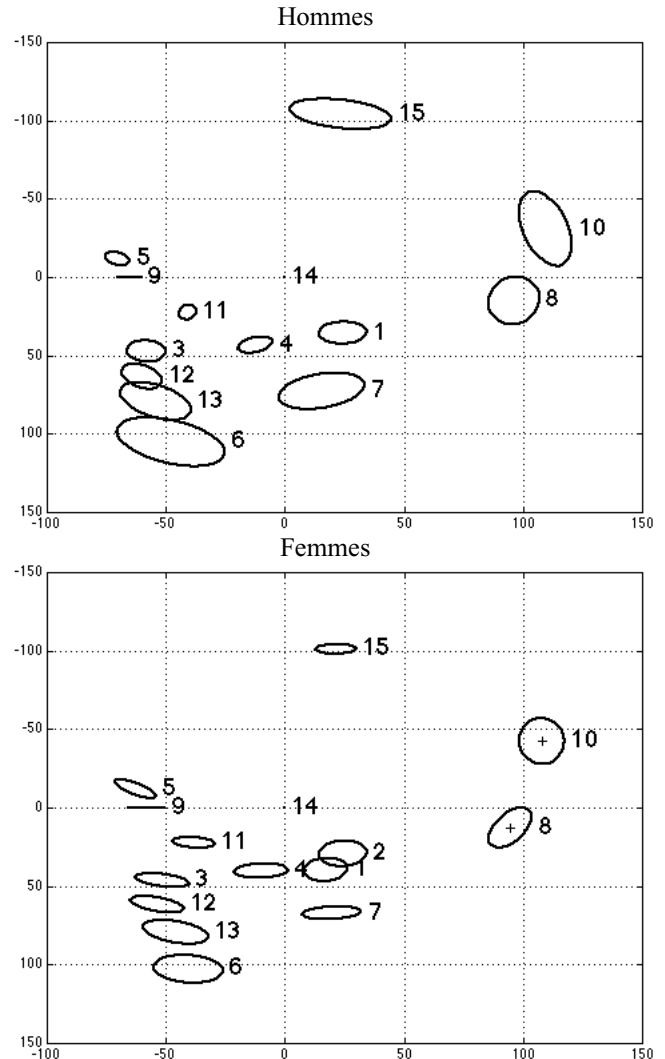


**Figure 4 :** Repères et plans sur une des radiographies de momies (homme) ; la mire (10 cm) permet d'étalonner les distances (saisie R. Lichtenberg).

On dispose ainsi pour chacun des 22 sujets : (1) d'une image, trace des points saisis et des plans de référence (figure 4), (2) d'un fichier contenant l'ensemble des données (coordonnées des points de repère, distances entre points de repère, angles, index).

#### 5. PREMIÈRES ANALYSES

Nous avons préalablement référencé les données de chaque sujet par rapport à un même repère. Les coordonnées du centre de la selle turcique ont été choisies comme origine et une rotation a été opérée pour aligner l'axe des abscisses avec la droite passant par le nasion et le centre de la selle turcique. Les figures 5 présentent les ellipses de dispersion des points de repère ( $\pm 1.5$  écart type, soit 85.6 %) pour les hommes et les femmes. On peut noter en haut le vertex, en avant la glabella et les points mandibulaires, en arrière l'opisthocranion et l'inion.



**Figures 5 :** Ellipses de dispersion (échelles en mm) pour les hommes et les femmes : (1) Atlas, (2) Basion, (3,4) Épines nasales ant. et post., (5) Glabella, (6) Gnathion, (7) Gonion, (8) Inion, (9) Nasion, (10) Opisthocranion, (11) Orbital, (12) Prosthion, (13) Pogonion, (14) Selle Turcique (origine), (15) Vertex.

Nous présentons les écarts type des points de repères (table 1). Les valeurs nulles correspondent aux références choisies pour la comparaison des données (centre de la selle turcique, nasion). On peut constater que les dispersions sont très voisines pour les hommes et les femmes. Les valeurs les plus importantes (gnathion, pogonion, menton et gonion) correspondent à des variations positionnelles de la mandibule. La position inter sujet de cette structure osseuse mobile n'est pas

facile à caractériser par rapport au crâne. Même si la mâchoire des momies est en occlusion totale ou partielle, sa position dépend de la présence/absence des dents et aussi de leur usure ; d'où les valeurs relativement élevées pour les écarts type. Enfin le vertex et l'ordonnée de l'opisthocranion sont sensibles à leur repérage géométrique (points de tangence sur des courbes à grand rayon de courbure).

**Table 1 :** Écarts type ( $\sigma$ ) des repères (en mm). Seules sont présentées les valeurs présentes pour l'ensemble des sujets.

Sexe	Hommes		Femmes	
	$\sigma x$	$\sigma y$	$\sigma x$	$\sigma y$
Atlas	5.11	6.19	6.12	4.93
Basion	6.75	4.67	6.80	5.43
Épine nas. ant.	5.50	4.53	7.52	2.88
Épine nas. post	4.92	3.45	7.50	3.07
Glabelle	3.44	2.85	5.73	3.94
Gnathion	15.10	10.37	9.71	5.92
Gonion	12.03	7.72	8.20	2.74
Incisive sup.	—	—	8.73	5.17
Incisive inf.	—	—	7.73	3.70
Infradental	9.91	8.05	9.11	5.04
Inion	7.17	10.16	6.05	8.46
Menton	14.9	10.17	10.16	5.73
Nasion	3.32	0	5.05	0
Nasospinal	4.27	4.04	6.71	3.28
Opisthocranion	7.36	15.92	6.29	9.78
Orbital	2.49	3.06	6.00	2.2
Pogonion	14.60	10.65	9.68	6.20
Prosthion	5.63	5.37	7.54	3.51
Selle turcique	0	0	0	0
Vertex	14.30	6.43	5.69	2.00

Première évaluation concernant le conduit vocal : sa dimension antéropostérieure qui peut être estimée à l'aide de la distance entre le prosthion et le point le plus antérieur du corps de l'atlas (cf. figure 3). En moyenne, pour les hommes on obtient 8.06 cm avec un écart type de 0.32 cm et pour les femmes 7.49 cm avec un écart type de 0.47 cm, ce qui correspond à une différence significative ( $p < 0.001$ ). À cette valeur il faudrait retrancher l'épaisseur des tissus entre la paroi nasopharyngale et le point le plus antérieur de l'atlas (quelques mm). Pour avoir une estimation plus affinée de la dimension antéropostérieure du conduit vocal il est possible de rajouter l'épaisseur des lèvres. Il existe pour cela des prédictions en fonction de l'âge, du sexe, de la corpulence et de la forme antérieure de la mandibule [Vig98, p. 45].

Compte tenu de la richesse des documents rassemblés par R. Lichtenberg, nous nous proposons d'augmenter le nombre de sujets analysés pour atteindre une vingtaine par sexe. Les données de face seront aussi saisies et analysées, en particulier pour évaluer la largeur du palais qui conditionne la largeur entre les commissures des lèvres [Gol80, p. 165-166]. Il reste à procéder à une analyse de la variance systématique (opérée sur les distance entre points de référence) pour confirmer l'absence ou la présence de différences homme/femme et à explorer les corrélations qui reflètent les contraintes architecturales du crâne. Enfin les points de référence permettant de mieux prédire la position de l'os hyoïde (et donc dans une certaine mesure du larynx) seront sélectionnés. Ces données seront comparées avec les estimations de Honda & Tiede [Hon98] et celles que nous allons proposer grâce à des radiographies de sujets contemporains constituées par (1) Denis Autesserre, (2) Fleur Letellier-Willemin, en collaboration avec Éric Séneterre et Muriel Sahin, *Polyclinique de l'Essonne*. L'ensemble pourra être utilisé pour proposer un crâne générique.

## 6. RÉFÉRENCES

- [Boë02] Boë L.-J., Heim J.-L., Honda K., Maeda S. (2002) The potential Neandertal vowel space was as large as that of modern humans. *J. Phonetics* (in press).
- [Dun98] Dunand F., Lichtenberg R. (1998) Les momies et la mort en Égypte. Errance, Paris.
- [Gol80] Goldstein U.G. (1980) An articulatory model for the vocal tract of the growing children. Thesis of Doctor of Science, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- [Hon98] Honda, K. & Tiede, M.K. (1998) An MRI study on the relationship between oral cavity shape and larynx position, In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Spoken Language Processing*, 2, 437-440.
- [How73] Howells W.W. (1973) Cranial variation in man. A study of multivariate analysis of patterns of differences among recent populations. *Papers of the Peabody Museum. Archaeology and Ethnology*, vol. 67. Cambridge, Harvard University Press.
- [Ikr98] Ikram S., Dodson A. (1998) The mummy in Ancient Egypt. The American Univ. in Cairo Press, Cairo, Egypt.
- [Mir96] Mirazón Lahr M. (1996) The evolution of modern human diversity. A study of cranial variation. Cambridge University Press, Cambridge.
- [Sch80] Scheideman G.B., Bell W.H., Legan H.L., Finn R.A., Reisch J.S. (1980) Cephalometric analysis of dentofacial normals. *Am. J. Orthod.*, 78, 4, 404-420.
- [Vig99] Vignal J.-N. (1999) Les reconstitutions faciales assistées par ordinateur. Données tomodontométriques déformations d'image ou « warping ». Artcom', Paris.
- [Yas93] Yasar Iscan M., Helmer R.P. ed. (1993) Forensic analysis of the skull. Wiley-Liss. Inc., New-York.

## REMERCIEMENTS & DETTES

Le logiciel d'acquisition a été développé avec la participation de Dimitri Obolensky (stage ENSERG). L'acquisition des données à partir des radiographies et leurs analyses ont été menées dans le cadre des projets (1) *Contrôle orofacial dans la communication chez les primates humains et non humains : Neandertal, le singe et l'homme* (resp. Jean-Luc Schwartz), action CNRS OHLL Origine de l'Homme, du Langage et des Langues, (2) *Orofacial control in communication in human and non human primates* (resp. Didier Demolin), programme européen ESF EUROCORES OMLL *The Origin of Man Language and Languages*.