

# OS HYOÏDE ET LARYNX CHEZ HOMO. POSITION ESTIMEE PAR LA BIOMETRIE

Jean Granat, Evelyne Peyre, Louis-Jean Boë

► **To cite this version:**

Jean Granat, Evelyne Peyre, Louis-Jean Boë. OS HYOÏDE ET LARYNX CHEZ HOMO. POSITION ESTIMEE PAR LA BIOMETRIE. *Biométrie Humaine et Anthropologie - revue de la Société de biométrie humaine*, SBH Société de Biométrie Humaine, Paris, 2006, 24 (3-4), pp.243-255. Granat J., Os hyoïde et larynx chez Homo. hal-00730352

**HAL Id: hal-00730352**

**<https://hal-univ-paris.archives-ouvertes.fr/hal-00730352>**

Submitted on 10 Sep 2012

**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.

## OS HYOÏDE ET LARYNX CHEZ *HOMO*. POSITION ESTIMÉE PAR LA BIOMETRIE HYOID BONE AND LARYNX IN *HOMO*. ESTIMATED POSITION BY BIOMETRICS

JEAN GRANAT\*, ÉVELYNE PEYRE\*\*, LOUIS-JEAN BOË\*\*\*

### RÉSUMÉ

Chez les Hommes actuels et fossiles, l'estimation de la position de l'os hyoïde, et donc celle du larynx, constitue un paramètre important pour reconstituer la géométrie de leur conduit vocal. Afin de proposer une méthode simple et efficace applicable au genre Homo, nous avons recherché des repères craniométriques indépendants de la grande variation morphologique craniocervicale au cours de l'évolution humaine. Les proportions craniofaciales des Hommes actuels et fossiles nous ont permis de définir des points facilement repérables et qui ne sont pas, ou très peu, affectés par les spéciations évolutives des différentes lignées. Ce travail a permis de mettre au point une méthode d'apprentissage statistique et une formule simple d'estimation de la position du larynx.

**Mots clés :** os hyoïde, larynx, conduit vocal, proportions faciales, Homme moderne, Néandertal, *Homo ergaster*, *Homo habilis*, Qafzeh 9, La Quina, La Ferrassie, KNMWT 15000.

### ABSTRACT

In the current and fossil Men, the estimated position of the hyoid bone and, therefore, that of the larynx, constitutes an important parameter to reconstitute the geometry of their vocal tract. In order to build a simple and effective method applicable to all species of the Homo genus, we searched for craniometrical marks that are independent of the great morphological variation of the cranio-cervical complex during the human evolution. The cranio-facial proportions of current and fossil Men enabled us to define easily locatable points which are not, or very little, affected by evolutionary trends among the various human lineages. This work makes it possible to carry out a technique of statistical training and a simple formula to estimate the position of the larynx.

**Key words:** hyoid bone, larynx, vocal tract, facial proportions, Modern Man, Neanderthal, *Homo ergaster*, *Homo habilis*, Qafzeh 9, La Quina, La Ferrassie, KNMWT 15000.

## INTRODUCTION

Les recherches de plus en plus nombreuses sur le comportement des Hommes fossiles et de leur développement cognitif sont intimement liées à celles menées sur la question du langage. Dès 1964 le célèbre préhistorien Leroi-Gourhan affirme ce lien [LEROI-GOURHAN 1983] lorsqu'il formule l'hypothèse d'une similitude entre les chaînes opératoires impliquées dans la fabrication technologique de l'outil et celles qui sous-tendent le langage, ainsi « l'Homme fabrique des outils concrets et des symboles, les uns et les autres relevant du même processus ou plutôt recourant dans le cerveau au même équipement fondamental. [...] outil et langage sont

liés neurologiquement ». La seconde approche s'appuie sur l'étude du biologique et de son évolution, notamment sur celle des organes de la tête. L'étude de l'anatomie du conduit vocal et son évolution présentée ici se situe dans ce contexte et tient compte des variations morphologiques évolutives du crâne, car l'une des expressions du langage est la parole, production qui nécessite un complexe moteur incluant les organes du cou, la bouche...

Notre travail, craniologique et craniométrique, a consisté à estimer la position de l'os hyoïde auquel le larynx est suspendu. En effet, cette localisation de l'os hyoïde permet d'évaluer la hauteur du cou disponible pour le larynx. Il semble, en effet, qu'il soit possible d'estimer les limites géométriques du conduit vocal [BOË *et al.* 2007]

\* Docteur Jean GRANAT, docteur en Sciences Odontologiques, Membre associé de l'Académie Nationale Chirurgie Dentaire, chercheur associé au Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR CNRS 5198 *Histoire naturelle de l'Homme préhistorique*, Musée de l'Homme, Paris

\*\* Docteur Évelyne PEYRE, Docteur en Paléontologie des Vertébrés et Paléontologie humaine, Chargée de Recherche au CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR CNRS 5145 *Éco-anthropologie et Ethnobiologie*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Musée de l'Homme, Paris.

\*\*\* Louis-Jean BOË, chercheur senior, Institut de la Communication Parlée, INPG- Université Stendhal ; UMR CNRS 5009, Grenoble ; chercheur associé au Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 5198 *Histoire naturelle de l'Homme préhistorique*, Musée de l'Homme, Paris.

Article reçu le 15.05.2006, accepté le 21.11.2006

et les potentialités acoustiques de la production de la parole chez les Hommes fossiles [BOË *et al.* 2005 ; HEIM *et al.* 2000]. Notre propos ne permet pas d'établir si les Hommes fossiles parlaient ou non, s'ils possédaient un langage ou non, cette double question concerne d'autres recherches qui débordent très largement du cadre de la biométrie ici convoquée- mais seulement si la géométrie de leur conduit vocal leur permettait de produire des sons de parole.

Le terme phonation sous-entend le contrôle du larynx pour produire un signal voisé ou bruité, alors que l'expression « production de la parole » est une phonation à laquelle s'ajoute le contrôle de l'ensemble du conduit vocal.

### PROBLEMATIQUE

Ce travail développe une étude précédente menée sur la place de l'os hyoïde dans le cou, chez les mammifères en général et notamment chez les Hommes actuels et fossiles [GRANAT et PEYRE, 2004]. Cet os, impair et médian, est en forme de U ouvert vers l'arrière. Ses dimensions, relativement réduites, sont, en moyenne, d'environ 4cm pour la largeur et de 4,5cm pour la longueur (fig.1A,B). Comme cet os est sans connexion osseuse de type articulaire, il est très difficile de le repositionner sur un squelette après la disparition des parties molles. C'est pourtant l'objectif que nous nous sommes fixé dans ce travail sur les Hommes fossiles.

Chez les animaux, nous avons localisé la place de l'os hyoïde par des radiographies ou par des dissections du cou comme celles que nous avons pratiquées sur des lapins et des Grands Singes.

Ces résultats nous ont permis de discuter, en la contestant, l'hypothèse d'une « descente de l'os hyoïde » dans le cou au cours de la croissance humaine proposée par certains auteurs pour expliquer le langage parlé [LIEBERMAN et CRELIN 1971 ; LIEBERMAN 2002].

Nous avons [GRANAT et PEYRE, 2004] d'abord constaté que chez tous les mammifères que nous avons pris en compte l'os hyoïde se situe toujours dans un plan sous-mandibulaire et nous avons contrôlé ce résultat chez l'Homme actuel à l'aide de radiographies qui seules permettent de visualiser l'os hyoïde chez le vivant (fig.1C). Nous avons également montré que la position de l'os hyoïde, lors de la croissance du crâne et de la face, est intimement liée à celle de ces ensembles osseux et que, de l'enfance à l'âge adulte, le plan hyoïdien reste parallèle au plan mandibulaire inférieur à une distance sensiblement constante. En revanche, le rachis cervical nous informe sur la longueur du cou. En effet, toujours composé de sept vertèbres chez les Mammifères, il permet de positionner la partie inférieure du cou au niveau de la septième vertèbre cervicale (C7) puisqu'elle est contrainte en dessous par la ceinture scapulaire articulée à partir de la première vertèbre dorsale (D1). La hauteur disponible au larynx dans la loge laryngée est donc celle de l'espace compris entre la face

inférieure de l'os hyoïde et l'articulation entre C7 et D1 (fig.1D). Si cet espace est très vaste pour nombre de Mammifères, et certains ont de très longs cous, il est, en revanche, presque totalement occupé par le larynx chez les Hommes.

### MATERIEL ET METHODE

L'os hyoïde des Hommes du Passé n'est qu'exceptionnellement conservé et, même découvert en sépulture, il n'est pas en place. A notre connaissance, seuls deux os hyoïdes fossiles ont été retrouvés, celui du Néandertalien<sup>2</sup> de la grotte de Kébara en Israël [ARENSBURG *et al.* 1989] et celui de Selam, jeune *Australopithecus afarensis* mis au jour à Dikika en Ethiopie [ALEMSEGED *et al.* 2006]. Mais, où étaient-ils situés par rapport à la mandibule et au rachis cervical ?

Pour répondre à cette question, et surtout pour localiser la place de l'os hyoïde en son absence, ce qui est presque toujours le cas, nous avons élaboré, à partir des Hommes actuels, une méthode pouvant s'appliquer aux Hommes fossiles, c'est-à-dire qui prévient les grandes difficultés liées à l'état de conservation de leur squelette. La place de l'os hyoïde estimée, il devient possible de préciser les limites géométriques du conduit vocal et ainsi d'évaluer leurs possibilités phonatoires.

Nous avons analysé certains fossiles originaux (collections du Musée de l'Homme) car ils permettent d'obtenir des données par scanner et radiographies. Mais la plupart des originaux sont difficilement accessibles. Nous avons donc eu recours, très souvent, à des moulages, et comme l'application des techniques de l'imagerie médicale est impossible dans ce cas, certains repères sont difficiles à localiser.

Nous avons également utilisé quinze squelettes actuels remontés et accrochés à des potences de ces mêmes collections, certains squelettes anciens confiés, pour étude, à Evelynne Peyre par les Régions de Bourgogne et d'Ile-de-France, et des radiographies panoramiques et télécânes qui nous ont été aimablement confiés par le Centre d'Imagerie Médicale Italie (CIMI).

Nous avons utilisé des données bibliographiques ou inédites, notamment les mesures craniofaciales de populations anciennes de France que nous avons antérieurement étudiées : les Néolithiques de l'Est et du Sud-est du Bassin parisien [PEYRE et GRANAT 2004], les squelettes post-glaciaires de Pincevent [PEYRE 1996 ; PEYRE et GAUCHER 1996] et les villageois de nécropoles du début des temps historiques, datées d'environ 2ka, celle de Saint-Martin du Tertre [BARBIER et BARBIER 1983; PEYRE 1983 ; PEYRE et GRANAT 2001] et celles de Maule [PEYRE 1977, 1979 ; MENIN 1977].

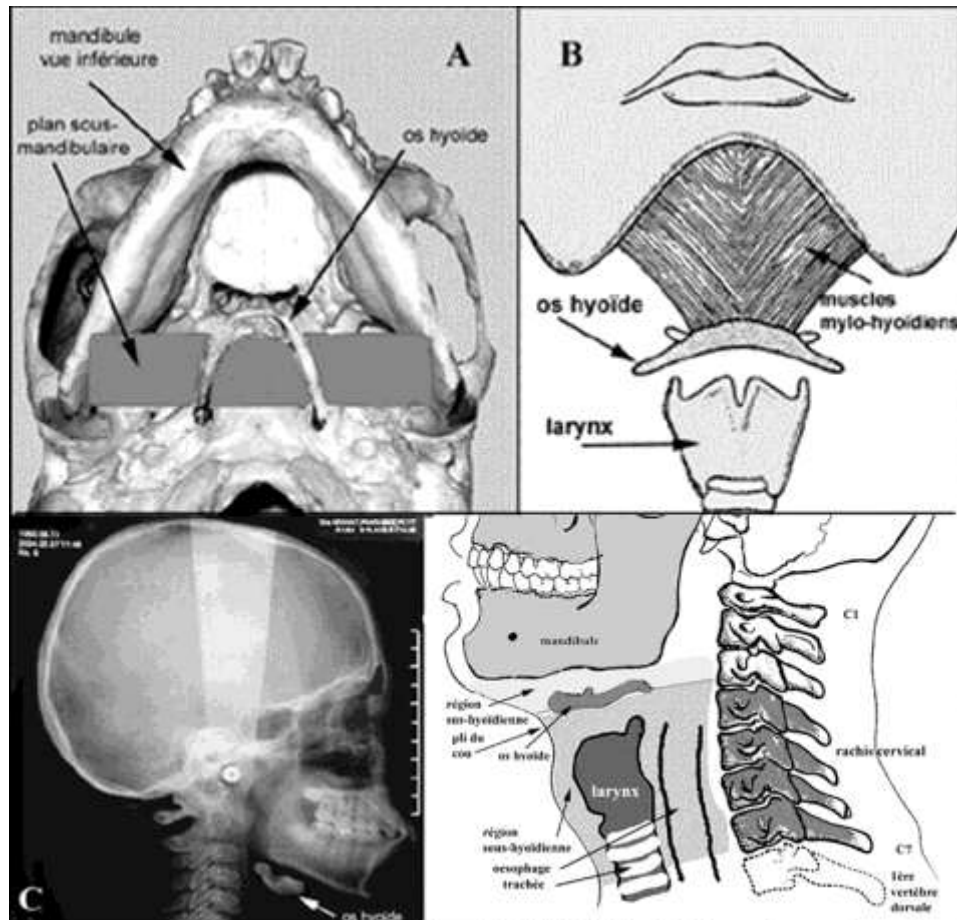


FIGURE 1 — Position anatomique de l'os hyoïde - A. Crâne, en vue de dessous (cliché J.Granat) B. Schéma du cou, en vue antérieure (d'après DUPUY DE FRENELLE 1951, modifié) C. Radiographie du crâne et du cou, en vue latérale; D. Schéma de la loge laryngée, en vue latérale (cliché J.Granat).

Nous avons décidé d'utiliser le plan de Merkel comme plan d'orientation du crâne [BELGUEDJ 2000]. Ce plan passe par le point sous-orbitaire gauche et le centre des 2 conduits auditifs, plan plus facile à matérialiser que le plan de Francfort car sur les téléradiographies, les cales radio-opaques du céphalostat masquent le porion<sup>1</sup>. Nous le préférons au rajout de 2mm au-dessus du centre de la cale afin de tracer le plan de Francfort [LOREILLE *et al.* 1992]

Nous avons d'abord, d'après des télécrânes, repéré l'emplacement de l'os hyoïde dans différentes positions de la tête. Puis, nous avons développé une méthode permettant de retrouver cette localisation d'après des repères cranio-faciaux [BORIES 1996, DESHAYES 2000]. Nous avons testé cette méthode chez le vivant avant de l'appliquer à des crânes secs sans os hyoïde.

Déduire la localisation de l'os hyoïde de la position de la mandibule est une démarche méthodologique que la logique nous a convaincu d'entreprendre. Mais, pour ce faire, nous avons dû, dans un premier temps, résoudre une

difficulté liée à l'état de conservation des Hommes anciens. En effet, si le crâne et la face sont souvent retrouvés ensemble du fait de leur connexion par des synarthroses, il n'en est pas de même pour la mandibule car les articulations temporo-mandibulaires, mobiles, sont des diarthroses qui se dissocient avec la résorption post mortem de leurs ligaments. Les crânes de nombreux Hommes très anciens, enfouis sans sépulture, sont retrouvés sans mandibule et lorsque, exceptionnellement, cette dernière est présente l'occlusion dentaire est très souvent difficile à retrouver ainsi que la position des condyles mandibulaires dans les cavités glénoïdes temporales. Nous avons donc recherché des repères sur l'ensemble craniofacial qui nous permettent de faire abstraction de la mandibule le cas échéant. Les parangons grecs et actuels montrant des constantes dans les proportions du visage, nous avons donc étudié les différents étages de la face chez le vivant et sur le squelette.

<sup>1</sup> porion : point le plus antérieur de l'épine supra-méatique sur le bord supérieur du méat auditif externe [Peyre 1977]

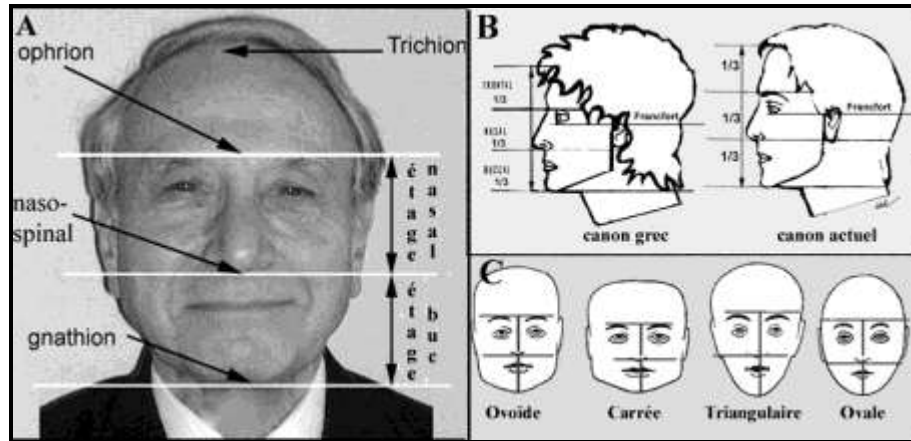


FIGURE 2 -La tête humaine - A. Photographie d'un Homme actuel, en vue antérieure (cliché J.Granat); B. Schémas, en vue latérale : canons grec et moderne; C. Les types morphologiques de Williams, en vue antérieure (d'après Crétot modifié)

Sur le vivant, la face occupe la partie antérieure de la tête, de la limite supérieure du front au niveau de la racine des cheveux à la base de la mandibule, soit, dans un plan sagittal, du trichion au gnathion (fig.2 A). Elle se décompose en trois étages, le frontal ou supérieur, le nasal ou moyen et le buccal ou inférieur. L'étage frontal s'étend du trichion à l'ophryon. Le visage est défini à partir de la ligne ophryaque qui est une tangente aux deux sourcils ; dans le plan sagittal, elle s'étend de l'ophryon, point médian de la ligne ophryaque, au gnathion. Il n'occupe donc que les deux derniers étages, l'étage nasal entre l'ophryon et le point sous-nasal ou naso-spinal et l'étage buccal ou inférieur, du naso-spinal au gnathion [CRETOT 1975 ; BONNEAU *et al.*, 1983 ; GNAGNE *et al.* 2001]. En règle générale, ces deux étages sont approximativement égaux aussi bien dans le canon grec que dans le canon actuel (fig.2B), quel que soit le type morphologique de la tête proposé par De Nevezé, Sigaud ou Williams (fig. 2C). Ils se mesurent perpendiculairement au plan de Francfort. Cette égalité est d'ailleurs reconnue en pratique odontologique pour retrouver la dimension verticale inférieure à fin de réalisation de prothèse dentaire totale chez des patients complètement édentés. Il est considéré que cette égalité des deux étages moyen et inférieur est réalisée lorsque la mandibule est en position de repos et l'occlusion dentaire au repos physiologique. Les deux

arcades dentaires sont alors espacées de 2 mm environ [DEVIN 1969 ; BLANCHARD et BARTALA 1999].

Remarquons que ces étages décrits sur le visage ne correspondent pas exactement à ceux définis en craniométrie où la face osseuse totale (fig.3A) est définie entre le nasion<sup>2</sup> et le gnathion<sup>3</sup>, les dents étant en occlusion. La hauteur faciale supérieure se mesure du nasion au prosthion<sup>4</sup> et se décompose en une hauteur nasale du nasion au naso-spinal<sup>5</sup> et en une hauteur spino-alvéolaire du naso-spinal au prosthion [MARTIN 1928 ; OLIVIER 1960 ; MARQUER 1967 ; FEREMBACH 1974 ; PEYRE 1977 ; THOMA 1985 ; DEMOULIN 1986]. L'étage frontal varie d'une espèce humaine à l'autre avec le développement du crâne en hauteur et la verticalisation de l'os frontal durant l'histoire humaine. Le fait que chez les Hommes anciens cet os est plus ou moins fuyant selon les périodes chronologiques envisagées et que, en l'absence de cheveux, le trichion ne peut pas se définir, nous a déterminé à ne pas tenir compte de cet étage supérieur.

L'os hyoïde étant sous-mandibulaire, notre démarche méthodologique nous a conduit, pour positionner la mandibule absente ou endommagée, à vérifier si ces étages nasal et buccal étaient aussi égaux dans les populations anciennes puis à préciser quelle était la place de l'os hyoïde par rapport à la base de la mandibule.

<sup>2</sup> nasion : point de la suture naso-frontale dans le plan sagittal [Peyre 1977]

<sup>3</sup> gnathion : point inférieur de la symphyse mandibulaire en position standard [Peyre 1977]

<sup>4</sup> prosthion : point le plus bas du bord alvéolaire supérieur, sur la suture intermaxillaire, là où se fait le changement de courbure entre les faces antérieure et postérieure du rebord alvéolaire, qui est aussi le point du bord alvéolaire le plus éloigné du nasion [Peyre 1977]

<sup>5</sup> naso-spinal : point de section par le plan sagittal de la tangente aux deux points les plus bas du bord inférieur de l'*apertura piriformis* de telle sorte que les variations de l'épine nasale n'influent pas sur sa position [Peyre 1977]

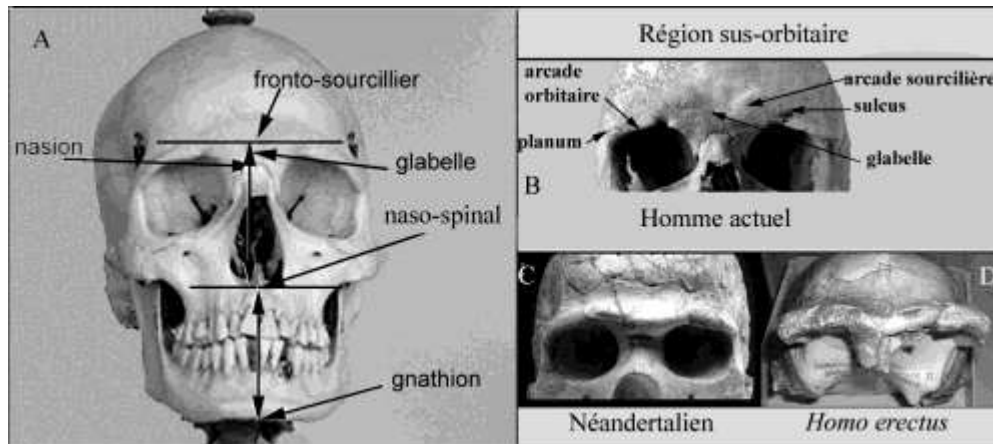


FIGURE 3 — Le crâne humain, en vue antérieure - A. Points craniométriques de la face; B. région sus-orbitaire de *Homo sapiens*; C. Torus sus-orbitaire de Néandertalien; D Torus sus-orbitaire de *Homo erectus* (cliché J.Granat)

Pour l'étude des étages de la face, les repères de l'anthropologie physique sur le squelette facial; sont, de haut en bas, les points glabelle<sup>6</sup>, nasion, naso-spinal, gnathion. La hauteur nasale se mesure du nasion au naso-spinal, et l'élément buccal du naso-spinal au gnathion. Afin de contrôler les valeurs relatives de ces hauteurs nasales et buccales, nous avons effectué un travail biométrique préalable sur tous les crânes que nous avons étudiés. Un premier résultat montre, dans ces conditions, que la hauteur nasale est toujours légèrement inférieure à la hauteur buccale, inégalité faible mais constante, que nous avons interprétée au choix défectueux du nasion comme repère. En prenant comme nouveau repère la glabelle, située au-dessus du nasion, la différence entre les hauteurs des deux étages diminue. Dans la littérature, l'ophryon qui étymologiquement vient du grec *ophros*, sourcil, est bien défini, mais sur le squelette les définitions ne sont pas toutes concordantes et l'orbite est le repère. Ferembach (1974) situe ce point sur le diamètre frontal minimum mais sur les Hommes fossiles, ce diamètre est en retrait de la région sus-orbitaire et chez les Hommes actuels cela ne correspond pas à la ligne ophryaque.

Nous avons recherché sur les crânes secs un point équivalent de l'ophryon cutané. Nous avons tracé la tangente aux rebords supérieurs des arcades sourcilières osseuses. Elle coupe le plan sagittal en un point que nous (Jean Granat et Évelyne Peyre) avons appelé le point *fronto-sourcilier*. En présence de torus sus-orbitaire, la tangente sera tracée à la partie supérieure du torus.

Nous avons mesuré la hauteur entre le fronto-sourcilier et le naso-spinal, et celle du naso-spinal au gnathion. Ces deux dimensions sont quasi identiques en tenant compte des 2 mm pour le repos physiologique de la mandibule. Ce

qui est décrit pour le vivant est alors valable sur le squelette.

La région sus-orbitaire est un élément très important dans notre étude car, chez certains Hommes fossiles, elle est différente de celle des Hommes modernes. Elle est constituée de trois parties différentes : 1°) l'arcade orbitaire qui forme le rebord supérieur de l'orbite. Elle s'étend de l'apophyse interne jusqu'à l'apophyse orbitaire externe du frontal ; 2°) l'arcade sourcilière qui constitue une saillie oblique en haut et en dehors, à un centimètre environ de la moitié interne de l'arcade orbitaire ; 3°) le *trigonum supraorbitale* qui prolonge l'arcade sourcilière en dehors et qui est généralement séparé du reste de la région orbitaire par un sillon large et peu profond, le *sulcus supraorbitalis* partant de l'échancrure sus-orbitaire. Ces éléments, chez l'Homme actuel, sont dissociés mais parfois l'arcade sourcilière rejoint l'arcade orbitaire (fig.3B) Chez certains Hommes fossiles, la fusion des trois éléments constitue un arc continu surplombant les orbites et qui en forme une partie notable de leur toit. Cet arc porte le nom de *torus sus-orbitaire*. Ce bourrelet continu s'étend donc du *trigonum* gauche au *trigonum* droit réalisant une véritable visière chez Néandertal et chez *Homo erectus* (fig.3C, D).

#### RESULTATS 1 : LA HAUTEUR DES ETAGES FACIAUX

Nous avons mesuré ces hauteurs sur notre matériel d'étude afin de les comparer. Nous avons d'abord travaillé sur des crânes complets avec mandibule : ils attestent de l'égalité de ces dimensions. L'égalité de ces dimensions est également constatée sur les Hommes fossiles anatomiquement modernes mais aussi chez les autres Hommes tels : Néandertal, *Homo erectus*, *Homo ergaster*, *Homo habilis* (crâne KNMER1813 auquel nous avons adjoint la mandibule OH13).

<sup>6</sup> glabelle: point médian le plus saillant en avant du frontal, au-dessus du nasion, entre les arcades orbitaires.

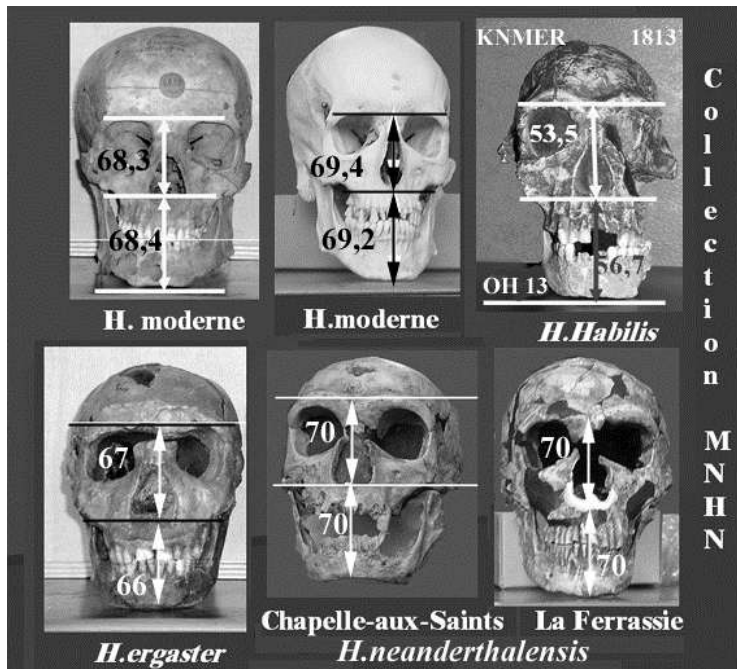


FIGURE 4 — Hommes actuels et fossiles, en vue antérieure : mesure (en mm) des hauteurs nasales et buccales (cliché J.Granat).

Prenons quelques exemples de hauteurs nasales et buccales (fig. 4) :

\* les deux Hommes actuels : l'un a une hauteur de l'étage moyen à 68,3 et de l'étage inférieur de 68,4 mm et l'autre a respectivement 69,4 et 69,2 mm

\* *Homo habilis*, crâne KNMER1813 associé à la mandibule OH13 : ces étages sont nettement moins haut, 53,5 et 56,7 mm (la mandibule d'origine différente est probablement la cause de la non égalité des étages)

\* *Homo ergaster*, KNMWT15000 du lac Turkana, « Turkana Boy ou Nariokotome », daté de 1,6Ma : ces dimensions sont légèrement inférieures et égales à 67 mm.

\* les Néandertaliens ont ces dimensions semblables, pour La Chapelle-aux-Saints, 70 et 70 mm, et pour La Ferrassie, 70 et 70 mm.

Nous constatons que, en dehors de *Homo habilis*, les hauteurs montrent très peu de différences entre les différentes espèces étudiées. Ceci signifie que depuis au moins 1Ma, les représentants du genre *Homo* ont des orbites, une ouverture nasale et buccale de dimensions proches de la variabilité actuelle.

**RESULTATS 2 : PLACE DE L'OS HYOÏDE CHEZ LE VIVANT.**

D'un point de vue anatomique (ROUVIERE 1961), l'os hyoïde se situe à la limite supérieure du cou qui, chez l'Homme actuel, s'étend verticalement vers la ceinture scapulaire.

La région sus-hyoïdienne est constituée par un hamac sous-mandibulaire de muscles s'insérant sur l'os hyoïde, sur la mandibule et sur le crâne. La région sous-hyoïdienne occupe la partie médiane antérieure du cou. Elle comprend la loge laryngée, en avant, qui renferme notamment l'os hyoïde et le larynx qui lui est suspendu et dont la partie inférieure se raccorde à la trachée, et l'œsophage qui en

forme la limite postérieure. Le rachis cervical composé des sept vertèbres constitue la zone osseuse postérieure du cou et s'étend du *foramen magnum* à la ceinture scapulaire. La nuque est la partie postérieure du cou située au-dessous de l'occipital. La méthode que nous établissons est conçue d'après des Hommes actuels et doit pouvoir s'appliquer aux différentes espèces d'Hommes fossiles. Comme les repères osseux biométriques doivent être peu différents d'une espèce à l'autre, nous avons éliminé certains repères qui ne pouvaient être considérés comme homologues compte tenu des phénomènes évolutifs, notamment les apomorphies, attestés chez les différentes espèces du genre *Homo* et qui conduisaient à des variations importantes de forme, de taille ou de position de ces repères.

Nous ne prenons donc pas en compte :

- 1°) les points occipitaux car certaines espèces présentent un arrière crâne étiré en « chignon occipital » ;
- 2°) toutes les dents, car les occlusions dentaires sont fortement différentes chez les espèces en labiodontie (le groupe incisivo-canin est en bout à bout occlusal) qui représentent la plupart des Hommes fossiles, et chez les espèces en psalidodontie (les incisives et les canines maxillaires recouvrant vestibulairement leurs homologues mandibulaires de 1,5mm environ lors de l'occlusion) comme l'Homme moderne [GRANAT et PEYRE 2003] ;
- 3°) les points mentonniers qui sont parfois multiples ;
- 4°) les vertèbres cervicales car le *foramen magnum* auquel elles aboutissent est localisé en hauteur ou orienté différemment selon les espèces, notamment en fonction de l'importance de la bascule occipitale.

En revanche, nous avons retenu les repères suivants :

- 1°) le plan de Merkel ;
- 2°) le point sous-mandibulaire antérieur ou gnathion.

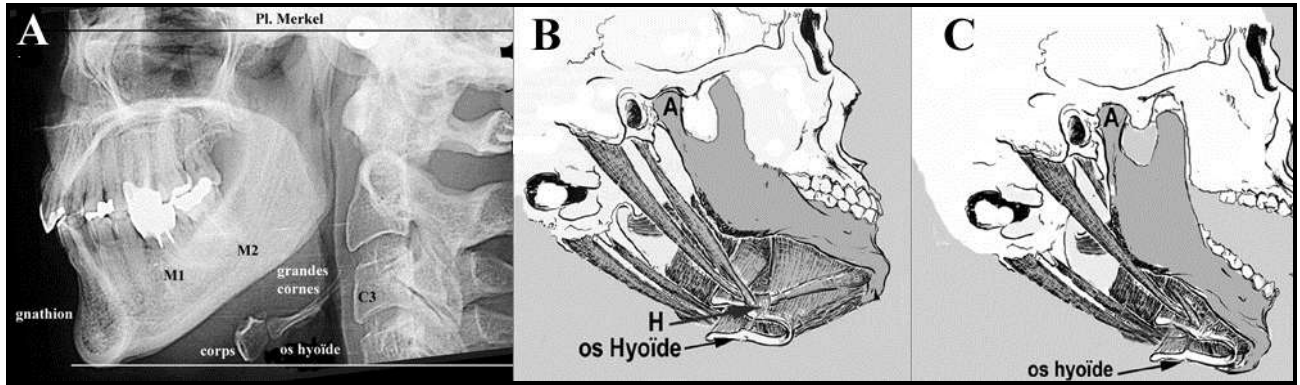


FIGURE 5 — Positions physiologiques de l'os hyoïde chez l'humain- A Radiographie de la tête, bouche fermée, en vue latérale. (cliché J.Granat); B. Schéma de la tête, bouche fermée : l'os hyoïde est au-dessous du plan de la base mandibulaire; C. Schéma de la tête, bouche ouverte : l'ouverture de la bouche s'arrête lorsque le plan de la base mandibulaire est au niveau de l'os hyoïde (d'après Pelletier M. modifié)

L'étude d'une vingtaine de téléradiographies prises dans un plan sagittal de crânes d'Hommes actuels orientés selon le plan de Merkel nous permet d'avancer les résultats suivants (fig.5A).

1°) Le larynx dispose pour se loger d'un espace qui varie selon la hauteur des corps vertébraux du rachis cervical.

2°) le corps de l'os hyoïde se situe généralement à la verticale de la première (M1) ou seconde (M2) molaire sur le plan parallèle au plan de Merkel passant par le gnathion

3°) les grandes cornes de l'os hyoïde, sensiblement parallèles au bord inférieur de la mandibule, atteignent le niveau du bord postérieur du ramus.

4°) la distance entre l'os hyoïde et la mandibule contraint le degré d'ouverture de la bouche. L'ouverture de la bouche se réalise par la contraction des muscles masticateurs abaisseurs de la mandibule s'insérant sur l'os hyoïde, sur la mandibule et sur le crâne. La mandibule, pièce osseuse unique et mobile, est entraînée dans un mouvement de balançoire. Les points d'appui sont les cavités glénoïdes temporales et les rotules, les condyles mandibulaires. Selon les lois de la mécanique, lorsque le plan de base mandibulaire arrive au niveau de l'os hyoïde, l'ouverture est maximale (fig.5 B, C).

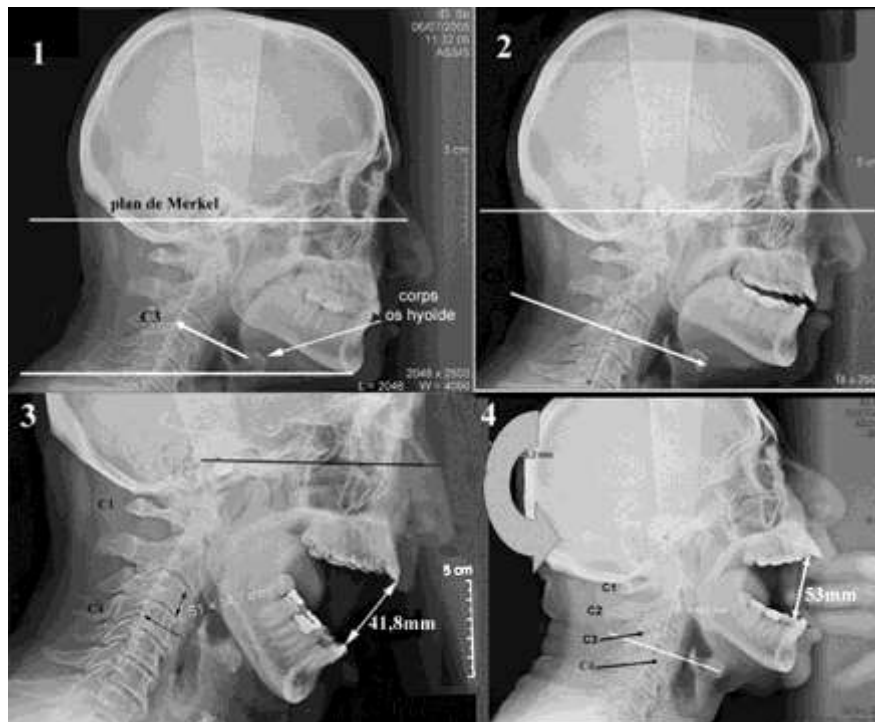


FIGURE 6 — Téléradiographies de la tête humaine, en vue latérale, montrant, sur le même sujet, les déplacements de l'os hyoïde au cours de l'ouverture de la bouche (cliché J.Granat)



Les *téléradiographies* prises sur le même individu permettent de constater les rapports entre le plan de base mandibulaire et l'os hyoïde au cours de l'ouverture de la bouche (fig.6) :

1. bouche fermée (en occlusion centrée), l'os hyoïde est au milieu de C3 ;
2. au repos physiologique, bouche légèrement entrouverte, l'os hyoïde est un peu plus bas ;
3. pendant l'ouverture, l'os hyoïde est tiré vers le bas, de la hauteur d'une vertèbre environ. L'ouverture est maximum lorsque le plan de base mandibulaire arrive au niveau de l'os hyoïde ;
4. tête basculée vers l'arrière, la mandibule s'éloigne de l'os hyoïde qui revient à sa position de départ et l'ouverture peut se faire jusqu'à la contraction maximale des muscles abaisseurs, la bouche s'ouvre davantage.

Ces observations nous permettent de conclure que

1°) La place de l'os hyoïde définit donc les possibilités d'ouverture de la bouche. Plus il est éloigné du plan de base mandibulaire plus la bouche peut s'ouvrir grand mais, plus l'espace disponible au dessous de lui, pour loger le larynx, est réduit.

2°) À angle d'ouverture égal, une mandibule longue antéro-postérieurement aura une ouverture antérieure plus grande qu'une mandibule de plus faible longueur. Pour obtenir la même grandeur d'ouverture une mandibule courte devra s'abaisser davantage qu'une mandibule longue.

Partant de ces constatations, une méthode a été réalisée [BOË *et al.* 2007] à partir d'un apprentissage statistique. Elle permet, chez l'Homme actuel, d'estimer la position du corps de l'os hyoïde et confirme ces propositions.

Nous l'avons utilisée pour localiser l'os hyoïde et donc le larynx, chez les Hommes fossiles et plus

particulièrement chez Néandertal. Chez l'Homme de Neandertal il n'y a pas de « bascule occipitale » (PEYRE *et al.* 2007) et la face est haute. De ce fait, le *foramen magnum* est plus éloigné de la base mandibulaire que chez l'Homme actuel. L'os hyoïde était de ce fait plus bas situé par rapport au rachis cervical que chez *H. sapiens* : il devait se situer en regard de C4 environ, et non de C3 comme chez l'Homme actuel. Le cou antérieur plus court que le nôtre était donc en regard de C4, C5, C6, C7. Découvert en 1908, l'Homme de la Chapelle-aux-Saints était décrit ainsi, dès 1909, par Marcellin Boule: « cou court et très musclé ... » [BOULE et VALLOIS 1952 ; HUREL. 2006]. Chez les autres espèces fossiles, la place de l'os hyoïde par rapport aux vertèbres, dépend de la hauteur du crâne, de la hauteur de la face et de celle du rachis cervical.

Tout ceci confirme que les vertèbres cervicales sont des repères inadéquats, l'origine (le trou occipital) étant mobile d'une espèce à l'autre par rapport au gnathion d'où part le plan parallèle au plan d'orientation du crâne.

### RESULTATS 3 : HAUTEUR DU RACHISCERVICAL.

Souvent les crânes fossiles sont sans mandibule, ou avec une mandibule mais sans rachis. De plus l'os hyoïde fossile n'est généralement pas retrouvé avec le crâne. Nous nous proposons malgré tout d'estimer la position de l'os hyoïde et celle du larynx et de reconstruire le conduit vocal. Avec le seul étage moyen, sans mandibule et sans colonne cervicale, il devient possible d'estimer le gnathion et la position de l'os hyoïde. Il nous faut ensuite reconstruire le rachis cervical pour estimer la hauteur de la loge laryngée, mais sur quels critères estimer sa hauteur ?

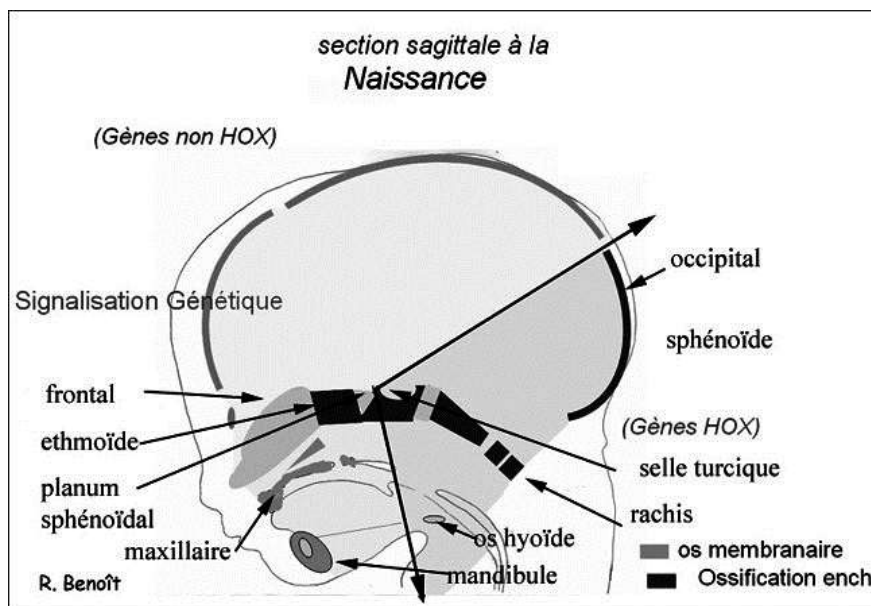


FIGURE 7 — Aires de dispersion des gènes HOX et non HOX (aimablement communiqué par R. Benoît)

La génétique du développement cranio-facial explique le rapport étroit qui existe entre l'os hyoïde et l'angle mandibulaire postérieur situé sur le *ramus*. Elle prouve que le sphénoïde, de la partie antérieure de la selle turcique à la base du *clivus*, le rachis, l'occipital, le *ramus* mandibulaire et l'os hyoïde sont sous la dépendance de gènes « homéobox » ou « HOX » répartis sur les quatre chromosomes 2, 7, 12 et 17. Ils sont responsables de la croissance verticale chez l'Homme. En revanche, la partie antérieure de la base du crâne (planum sphénoïdal, ethmoïde et frontal), le cerveau et les os de membrane qui le protègent, la face, notamment les maxillaires et le corps mandibulaire, sont sous la dépendance des « gènes architectes » ou « non HOX », qui sont dispersés dans tout le génome (BENOÎT 2001). Ils sont responsables de la croissance antéro-postérieure du massif cranio-facial (fig.7). Ces données nous ont convaincu que la hauteur du rachis cervical est préférentiellement corrélée à la hauteur du crâne, plutôt qu'à sa longueur.

Tous les Hommes du Paléolithique ont un crâne beaucoup plus long que large : ils sont dolichocrânes. Ensuite, au cours du temps, l'indice crânien horizontal (ICH) augmente : le crâne tend à être plus circulaire. Si le Mésolithique révèle les premiers mésocrânes, c'est durant le Néolithique qu'une forme du crâne beaucoup plus

« ronde » se reconnaît, avec une brachycrânie nette chez nombre de sujets. Aujourd'hui tous ces morphotypes se reconnaissent comme le montre la distribution de ICH (Fig.8A) durant les débuts des temps historiques. Il existe aussi une forte variabilité de la morphologie craniofaciale et de la hauteur du *ramus* mandibulaire (TH\*) sous l'échancrure sigmoïde [PEYRE, 1977, 1986] chez l'Homme actuel. Nous l'avons évaluée, par exemple (Fig.8B), au sein de populations villageoises anciennes datées de 2ka. environ.

L'importance de la variabilité est telle qu'elle ne permet pas de considérer les sept vertèbres cervicales comme des repères pertinents pour définir la place de l'os hyoïde.

Pour estimer la hauteur du rachis cervical des Hommes actuels, nous avons mesuré les quinze squelettes montés de nos Collections bien qu'ils ne possèdent pas de disques intervertébraux. Cette hauteur est, en moyenne, de 105mm. Trente radiographies de la tête et du cou nous ont permis de quantifier la hauteur des disques intervertébraux actuels : elle est en moyenne de 1,8mm pour chacun des disques. On peut donc estimer qu'un rachis cervical actuel mesure 118mm en moyenne, ce qui représente, environ, 77% de la hauteur du crâne mesurée du basion au bregma (HBB).

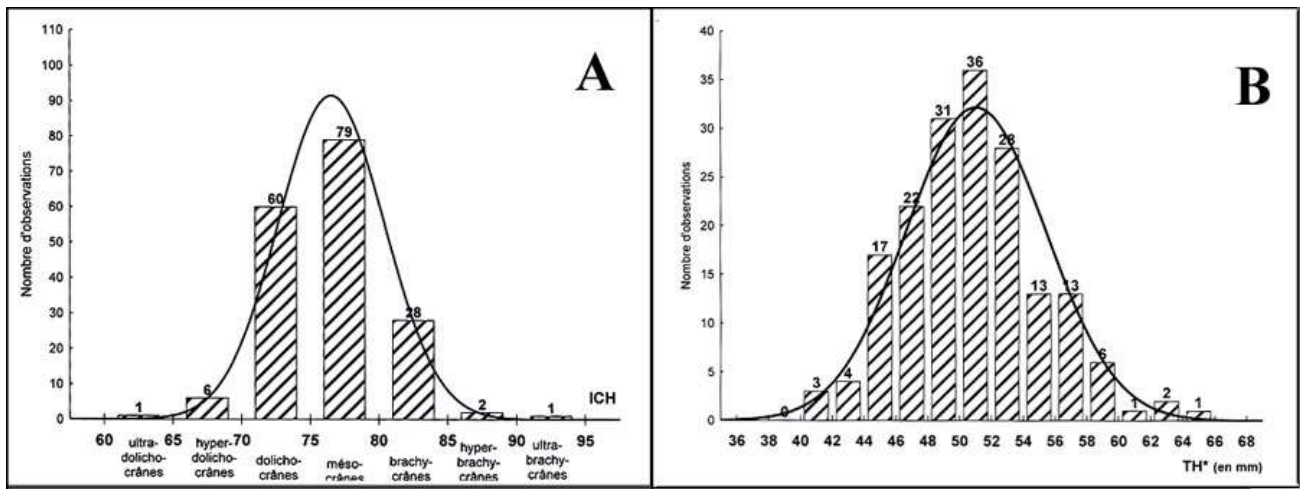


FIGURE 8. — Statistiques d'une population ancienne d'environ 2ka (France, n=177) - A. Distribution de l'indice crânien horizontal (ICH) ; B. Distribution de la hauteur (en mm) du ramus mandibulaire (TH\*) (cliché E. Peyre)

Pour pallier l'incomplétude des squelettes mal conservés, ce qui est la norme chez les Hommes fossiles, nous avons préféré utiliser les colonnes vertébrales existantes plutôt que des chimères. Ces colonnes appartenaient à des Hommes actuels, aux Néandertaliens de La Ferrassie et de La Chapelle-aux-Saints et à *Homo ergaster* KNMWT15000.

Pour les Néandertaliens, nous avons utilisé La Ferrassie (France) daté de 50 ka. Sa colonne cervicale et sa position ont été reconstruites d'après les facettes

articulaires de chaque vertèbre isolée puis mise en place en ajustant les facettes des condyles occipitaux à celles de l'atlas. Nous avons matérialisé les sept disques intervertébraux selon les normes actuelles. Ainsi reconstruite, la colonne cervicale mesure 111,5mm, alors que sans les disques, elle mesure 98,5mm [HEIM1976]. Chez La Ferrassie, HBB mesure 135mm. La hauteur du rachis représente donc 82,5% de celle du crâne (fig. 9). les Néandertaliens auraient donc une colonne cervicale plus courte que celle des Hommes actuels.

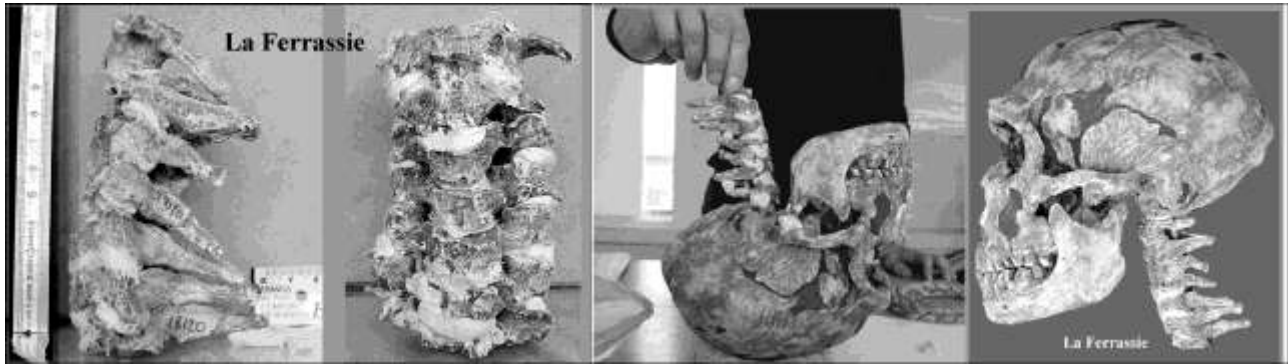


FIGURE 9 — Reconstitution du rachis cervical du Néandertalien de La Ferrassie. De gauche à droite : rachis en vue latérale, rachis en vue antérieure, positionnement du rachis sur le crâne en vue latérale (cliché J.Granat).

Les reconstitutions scientifiques des corps et des visages d'Homme fossile [SHAHROM 1996 ; VIGNAL *et al.* 1998] sont concordantes avec les résultats de notre méthode. L'os hyoïde de La Ferrassie se situe en regard de C4/C5 de la colonne cervicale ainsi reconstituée et mise en place. Ces résultats confirment ceux déjà obtenus [GRANAT et PEYRE 2004] : chez Néandertal, le larynx est donc plus bas situé dans le cou que chez l'Homme actuel, contrairement à tout ce qui a, en général, été avancé à ce sujet. En ce qui concerne les Hommes plus anciens, un seul fossile, *Homo ergaster*

(Nariokotome, KNMWT15000) daté à 1,6Ma, possède son rachis presque complet, puisqu'il comporte C6 et C7, et toutes les vertèbres dorsales et lombaires [HAEUSLER *et al.* 2002]. Nous avons reconstruit les vertèbres cervicales manquantes sur le moulage de ce rachis que nous avons dans les collections du Musée de l'Homme. Pour ce, nous avons ramené à la même échelle que les deux dernières cervicales présentes, les cinq premières vertèbres de La Ferrassie. Chez cet *Homo ergaster*, l'os hyoïde se place en regard de C4/C5 (fig. 10)

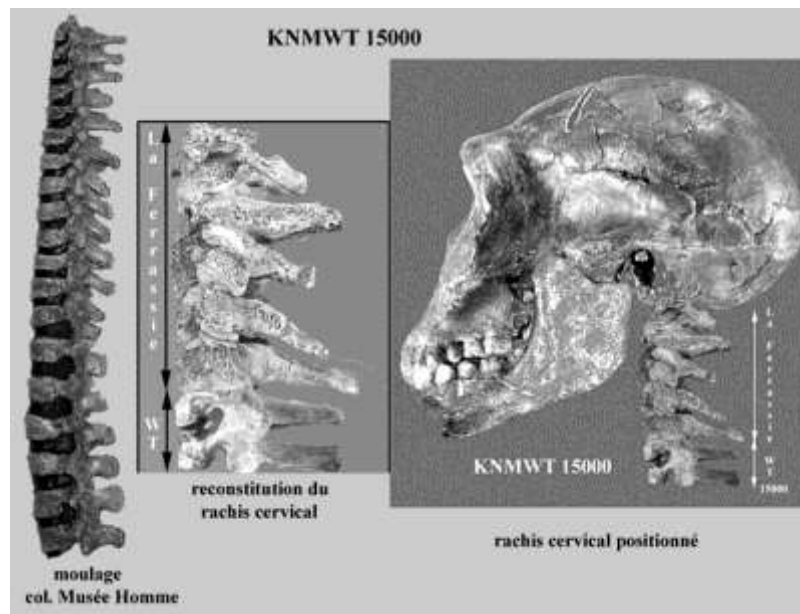


FIGURE 10 — Reconstitution du rachis cervical de *Homo ergaster* KNMWT15000. De gauche à droite : rachis conservé de KNMWT15000 en vue latérale, reconstitution du rachis cervical avec les 5 premières vertèbres du rachis cervical du Néandertalien de La Ferrassie ajoutées au 2 dernières de WT 15000 en vue latérale, et mise en place sous la crâne, en vue de profil (cliché J.Granat)

Le fossile néandertalien de La Quina (France) daté à 50ka [MARTIN 1912] en bon état et possédant sa mandibule montre des hauteurs nasale et buccale quasiment égales (fig.11). Tout d'abord, d'après la seule hauteur de la face supérieure, nous avons estimé la position du gnathion

duquel nous avons tracé la parallèle au plan de Merkel. et celle de l'os hyoïde. Ensuite nous avons comparé le premier résultat avec celui obtenu avec le crâne et sa mandibule, la correspondance est frappante. Enfin nous avons monté le rachis cervical.

Cette même méthode a été appliquée à l'Homme moderne Qafzeh 9 (Israël) daté à 95ka à partir du moulage du crâne et de sa mandibule (fig.11-5).

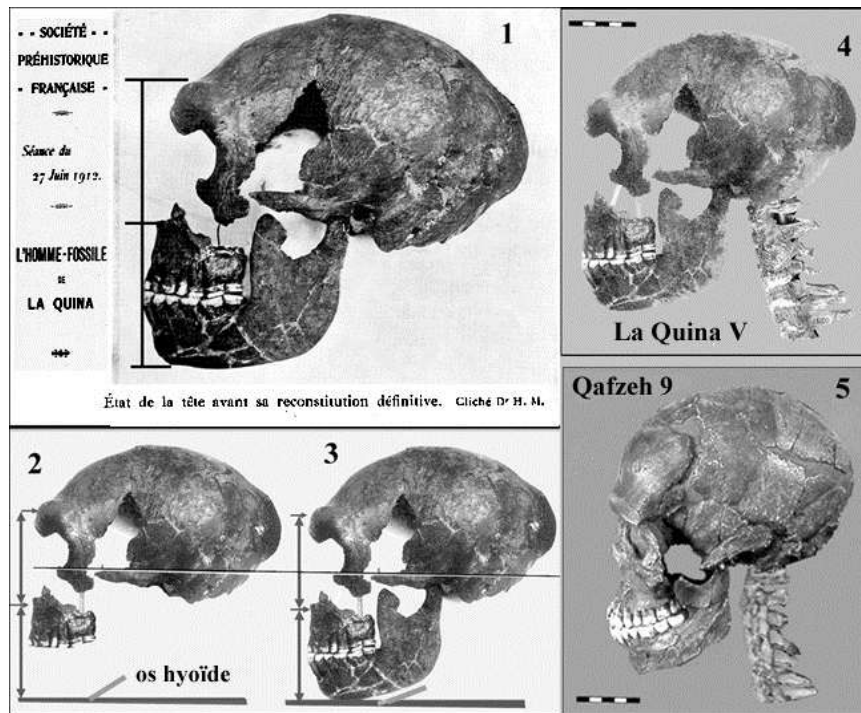


FIGURE 11 — 1. Néandertalien de La Quina en vue latérale V – 1 reconstitution de 1912 du Dr. H. Martin (autorisation Soc. Prehist. Française); 2 et 3. positions de l'os hyoïde : estimée sans la mandibule (2) positionné avec la mandibule; 4. rachis repositionné sous le crâne 5. crâne de l'Homme moderne Qafzeh 9 avec rachis repositionné sous le crâne ( clichés J.Granat).

Le squelette de Qafzeh 9 a été découvert en 1967 (VANDERMEERSCH 1981) dans une sépulture double, la seule sépulture double connue durant le Moustérien. Aux

pieds de cet adulte reposait un enfant âgé de 6 ans environ., Qafzeh 10

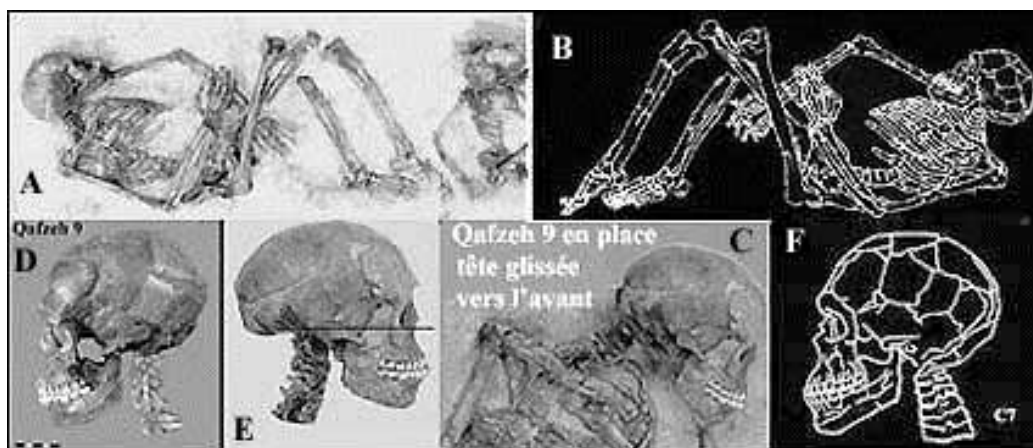


FIGURE 12 — A, B, C, squelette de Qafzeh 9 en place. D, reconstitution selon notre méthode. E, F, reconstitution d'après le crâne et le rachis figurant sur les représentations picturales (d'après Vandermeersch, modifié).

Pour nous, l'intérêt de cette sépulture réside dans le fait que le squelette est presque en position anatomique. La tête a légèrement glissé vers l'avant et les 6 premières vertèbres du rachis cervical sont en place, la septième est cachée par la clavicule

En dehors des dessins et photos du squelette en place nous n'avons pas trouvé de représentations des vertèbres de Qafzeh 9. Vandermeersch (1981) précise : « Le rachis de Qafzeh 9 est complet mais il est écrasé et, à part quelques fragments de vertèbres cervicales, totalement inutilisable ». A fin de comparaisons avec notre reconstitution première, nous avons redressé crâne et rachis des squelettes en place. la similarité des reconstructions prouve le bien fondé de notre méthode (fig.12).

## CONCLUSION

Cette recherche sur la position de l'os hyoïde chez les Hommes fossiles a permis d'évaluer la mobilité de l'os hyoïde durant la phonation et l'ouverture de la bouche chez l'Homme actuel. Nous avons estimé la position de l'os hyoïde par rapport à la mandibule, d'après des radiographies d'Hommes actuels. Cette démarche nous semble plus générale, mieux anatomiquement fondée et plus opératoire que celle proposée précédemment [LAITMAN, HEIMBUCH, CRELIN 1978] à partir de mesures de distance et d'angle sur la base du crâne. Elle complète ainsi des travaux sur la position du larynx [HEIM *et al.*, 2000 ; BOË *et al.*, 2005].

L'étude des relations entre les deux étages, nasal et buccal (moyen et inférieur), de la face nous a permis d'élaborer une nouvelle méthode biométrique d'estimation de la situation de l'os hyoïde chez les Hommes actuels et fossiles. Nous avons reconstruit les rachis cervicaux manquants d'après des vertèbres existantes et des mesures crâniennes.

Il a été possible dès lors de préciser la configuration pharyngienne et donc les potentialités de production de la parole des Hommes du passé récent et lointain.

Notre objectif est de préciser la configuration pharyngienne et donc les potentialités phonatoires des Hommes préhistoriques. Il comprend deux parties. La première, localiser la place de cet os, est en partie atteinte. La seconde, réaliser une méthode biométrique pour estimer la situation de l'os hyoïde chez les Hommes actuels et fossiles, est mise en œuvre [BOË *et al.* 2007].

Aujourd'hui il est de plus en plus admis que *Homo habilis* avait la possibilité de parler. Nous espérons pouvoir très prochainement modéliser son conduit phonatoire comme celui des nombreux autres fossiles de Néandertaliens et d'Hommes du Paléolithique supérieur, afin de montrer s'ils en avaient la possibilité physique.

Nous restons conscients que seuls les spécialistes du cerveau pourront affiner ces possibilités. Dans l'affirmative, il sera peut-être possible d'admettre un jour que le langage est une acquisition du genre *Homo* et non pas seulement de l'Homme actuel.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le Professeur Christian Pharaboz et le Docteur Olivier Granat, Radiologues (Centre Imagerie Médicale Italie) pour leur accueil et l'aide permanente qu'ils nous apportent dans nos recherches, en prenant les nombreux clichés que nous demandons et en nous en communiquant d'autres. Nous remercions aussi la Société Préhistorique Française pour son autorisation à publier ici la photo du crâne de La Quina prise par le Dr. H. Martin.

## BIBLIOGRAPHIE.

- ALEMSEGED Z., SPOOR F., KIMBEL W.H., BOBE R., GERADS D., REED D., WYNN, J.G. (2006) — A juvenile early hominin skeleton from, Dikita, Ethiopia. *Nature*, 443, 296-301
- ARENSBURG B., TILLIER A.M., VANDERMEERSCH B., DUDAY H., SCHEPARTZ L.A., RAK Y. (1989) — A middle paleolithic human hyoid bone. *Nature*, 338, 758-760.
- BARBIER M. et BARBIER D. (1983) — D'Agedincum aux Mérovingiens ... Résumé des découvertes récentes du site de Saint-Martin-du-Tertre. *Bull.Soc. Archéol. Sens*, 1983, 26, p. 28-47.
- BELGUEJ M. (2000) — L'organisation du développement vertical des structures cranio-facio-cervicales. Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en chirurgie dentaire. Université du Droit et de La Santé Lille 2 Faculté d'Odontologie N° 4210 114 p
- BOENOIT R. (2001) — Biologie du développement, génétique crânio-faciale. *Le Journal de l'Edgewise* 44, 9-41.
- BLANCHARD J. et BARTALA M. (1999) — Peut-on augmenter la dimension verticale d'occlusion en prothèse fixée ? Les cahiers de l'ADF - n° 4 - 1er trimestre 1999. pp 18-23
- BOË L.J., GRANAT J., AUTESSERRE D., PERRIER P., PEYRE É. (2007) — Variation et prédiction de la position de l'os hyoïde de l'Homme moderne à Neandertal. *Biométrie Humaine et Anthropologie, dans ce même numéro.*
- BOË L.J., HEIM J.L., AUTESSERRE D., BADIN P. (2005) — Prediction of geometrical vocal tract limits from bony landmarks: Modern humans and Neandertalians. in *Speech Production: Models, Phonetic Processes, and Techniques.* Harrington J., Tabain M. ed. New York: Psychology Press.
- BOULE M., VALLOIS H.V. (1952) — Les Hommes fossiles. Masson et Cie, éd., Paris. pp 220-270
- BONNEAU E., MOREAU R., VAILLANT J.M. (1983) — notions de craniométrie anthropologique in A.O.S. n°142 juin 1983, pp319-340
- BORIES J. (1996) — Le crâne humain. Ostéologie, Anatomie radiologique edit.. Springer-Verlag, Paris 274 p
- CRÉTOT M. (1975) — L'architecture dento-faciale humaine édit. Julien Prêlat 93 p.
- DEMOULIN F. (1986) — Techniques anthropologiques in *L'Homme, son évolution, sa diversité. Manuel d'Anthropologie physique.*, CNRS & Doïn.. éd., 572p ; pp17-42
- DESHAYES M.J. (2000) — Repérages crâniens ; édit. Cranexplo
- DEVIN R. (1969) — Cours de prothèse complète. - Paris: édit. Ass. Gen. Etud. Chir. Dent.

- DUPUY DE FRENELLE, MARSEILLIER E. (1951) — Précis d'Anatomie descriptive et régionale; Tome VI Tête et cou. Librairie Maloine Paris
- FEREMBACH D. (1974) — Techniques anthropologiques. in Craniologie. Ephé P., (Labo d'anthropo biol.)
- GNAGNE-A., KOFFI N.D.Y., MANSILLA-ABOUATTIER E., ADIKO E., DANHO V. (2001) — Type facial, forme dentaire et cosmétique Odonto-Stomatologie Tropicale N°96.
- GRANAT J., PEYRE E. (2003) — L'Homme, ses incisives, son évolution et l'anatomie crânio-faciale au XVIe siècle. *Biom. Hum. et Anthropol.*, 21 (n°3-4), pp. 135-143.
- GRANAT J., PEYRE E. (2004) — La situation du larynx du genre Homo. Données anatomiques, embryologiques et physiologiques. *Biométrie Humaine et Anthropologie* 22 (3-4), 141-163.
- HAEUSLER M., MARTELLI S. A., BOENI TH. (2002) — Vertebrae numbers of the early hominid lumbar spine. *Journal of Human Evolution* (2002) 43, 621-643
- HEIM J.L. (1976) — Les Hommes fossiles de La Ferrassie (Dordogne). 1. Le gisement. Les squelettes adultes (crâne et squelette du tronc). - Archives de l' I.P.H. mémoire 35.. Masson - Paris , 332 p.+ VII planches.
- HEIM J.-L., BOË L.-J., MAEDA S. (2000) — Essai de la détermination de la position du larynx à partir de repères craniométriques: Application à la paléontologie humaine. In *L'identité humaine en question. Nouvelles problématiques et nouvelles technologies en Paléontologie humaine et en Paléanthropologie biologique* -pp. 187-204. Artcom, Paris.
- HUREL A. (2006) — Dessine moi Néandertal. in *Néandertal, enquête d'une disparition. Dossiers La Recherche*, N°24 Août-Octobre 2006 p.17
- LAITMAN, J.T. HEIMBUCH, R.C., CRELIN, E.S. (1978) — Developmental change in a basicranial line and its relationship to the upper respiratory system in living primates. *American Journal of Anatomy* 152, 467-483.
- LEROI-GOURHAN A. (1983) (réédition 1964) — *Le geste et la parole*. Tome 1 : *Technique et langage*. Albin Michel éd., Paris, 323 pages, pp. 162-164.
- LIEBERMAN P. (2002) — On the nature and evolution of the neural bases of human language. *Yearbook of Physical Anthropology*, 45, 36-62.
- LIEBERMAN, P., CRELIN, E.S. (1971) — On the speech of the Neanderthal man. *Linguistic Inquiry*, 2, 203-222.
- LOREILLE J. P., DELAIRE J., CAILLARD P., SARAZIN J. (1992) — Céphalometrie et orthodontie. Paris, éditions S. N. P. M. D., 316 p.
- MARQUER P. (1967) — Morphologie des races humaines col. A. Colin n° 395 section de biologie A. Colin édit.223 p.
- MARTIN H. DR. (1912) — L'Homme fossile Moustérien de la Quina. *Soc. Préhist. Française* 36p 4 pl.
- MARTIN R. (1928) — *Lehrbuch der Anthropologie*. Gustav Fisher Verlag, Jena, 1181 pages.
- MENIN C. (1977) — La population gallo-romaine de la nécropole de Maule, Yvelines); étude anthropologique. *Thèse de Doctorat de l'université Paris VI*, 2 t., 275 pages
- OLIVIER G. (1960) — Pratique anthropologique. Vigot, Paris, 126p.
- PELLETIER M. (1969) — *Anatomie Maxillo-Faciale*. Lib. Maloine S.A, Paris, 559 pages.
- PEYRE E. (1977) — Etude anthropologique qualitative et quantitative de la population mérovingienne de la nécropole de Maule (France, Yvelines). *Thèse de doctorat de l'Université Paris VI – Pierre et Marie Curie*, 2 t., 350 pages
- PEYRE E. (1979) — La population mérovingienne de la nécropole de Maule (France, 78) : analyse anthropologique univariée qualitative et univariate des crania. *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris*, 6, XIII, pp. 47-84.
- PEYRE E. (1983) — Etude anthropologique des inhumés de 6 sépultures céphaloïdes. *Bull. Soc. Archéol. Sens*, 26 : 54-59
- PEYRE E. (1986) — Biométrie du calvarium et de la mandibule d'une population humaine. in M. Sakka (éd.) *Définition et origines de l'Homme : morphogénèse du crâne et anthropogénèse*, Actes de la Table Ronde Internationale CNRS n°3, 5-8 Juillet 1983, Paris, Editions du CNRS, Paris, pp. 97-111
- PEYRE E. (1996) — In G. Gaucher (éd.) Fouilles de Pincevent II. Mémoires de la Société Préhistorique Française, 23 : pp. 99-101, 103-105, 142-150, 159-163, 208-212
- PEYRE E. et GAUCHER G. (1996) — Du Mésolithique à l'âge du Fer : le fossé arqué et la sépulture 27G89. In G. Gaucher (éd.) *Fouilles de Pincevent II. Mémoires de la Société Préhistorique Française*, 23 : pp. 114-117
- PEYRE E. et GRANAT J. (2001) — Maturation et usure dentaire : estimation de l'âge. *Biométrie humaine et Anthropologie*, 19/3-4 : pp. 189-196
- PEYRE E., GRANAT J. (2004) — Paléopathologie et maturation dentaire chez des enfants néolithiques et protohistoriques français. *Biom. Hum. et Anthropol.*, n° 21, n°3-4 pp. 285-299.
- PEYRE E., GRANAT J., BOË L.J. (2007) — Variations des modalités évolutives crânio-faciales selon les espèces du genre *Homo*. *Biom. Hum. et Anthropol.*, n° 26, à paraître.
- ROUVIÈRE H. (1961) — *Anatomie humaine descriptive et topographique*. 9<sup>e</sup> édition, Masson, Paris
- SHAHROM A.W., VANEZIS P., CHAPMAN R.C., GONZALES A., BLENKINSOP C., ROSSI, M.I. (1996) — Techniques in facial identification: computer-aided facial reconstruction using a laser scanner and video superimposition. *International Journal of Legal Medicine*, 108(4), 194-200.
- THOMA A. (1985) — Eléments de paléanthropologie 229p 32 pl photos
- VANDERMEERSCH B. (1981) - Les Hommes fossiles de Qafzeh (Israël). Cahiers de paléontologie. éd. C.N.R.S. Paris. 320p
- VIGNAL J. N., RICHEBE J., MICHAUT J. F., SCHULIAR (1998) — Essai de reconstitution faciale par application du warping. *Biométrie Humaine et Anthropologie*, 16, 1-2, 83-86.