

La morphogenèse cranio-faciale

et ses conséquences adaptatives sur les courbures du rachis du néandertalien et de l'homme moderne

Tentatives de reconstitutions rachidiennes.

Djillali HADJOUIS
Archéologue,
paléoanthropologue

INTRODUCTION

Le géologue et paléontologue Marcellin Boule, directeur de la chaire de paléontologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris (1902-1936) et directeur de l'Institut de paléontologie humaine (1910-1939), publia en 1911 un ouvrage portant sur la découverte du squelette fossile de Neandertal de La Chapelle-aux-Saints (Corrèze). Sa description rigoureuse et détaillée, complétée par de sérieuses comparaisons avec les squelettes d'un gorille, de néandertaliens et d'hommes modernes, en a fait une référence sans faille en paléontologie humaine pendant près d'un siècle.

Cependant, la reconstitution par l'auteur de la posture du fossile et sa comparaison avec l'homme moderne trouva de nombreux détracteurs, en ce sens que la tête et la courbure du corps reflétaient une morphologie et une allure simiesques (Boule, 1911). Et pourtant, si les traits faciaux de la tête du néandertalien de La Chapelle-aux-Saints montraient des caractères robustes et un fort prognathisme facial, la reconstitution de la colonne vertébrale suivie d'un genou fléchi n'était en rien contradictoire.

Bien au contraire, les travaux d'aujourd'hui de posturologie, de biomécanique et de rhumatologie montrent sans conteste des situations analogues quand le corps est contraint de réagir à des pressions anatomophysiologiques de la gravitation, dues, dans le cas qui nous concerne, à des courbures anormales ou pathologiques de type cyphose ou cypho-scoliose, hyperlordose ou hypolordose. Les collections anthropologiques préhistoriques et historiques que nous avons étudiées ont également montré des rachis cyphotiques associés à une nouvelle dynamique du bassin et une semi-flexion du genou (Hadjouis, 2018).

La posture des hominidés indique des caractères morpho-fonctionnels significatifs quant à la position adaptative du basicrâne avec le rachis, la courbure de ce dernier et son rapport avec la ceinture pelvienne, de même que celle-ci avec le membre inférieur. En effet, les grands singes adaptés à la quadrupédie vont connaître un redressement occasionnel, une courbure rachidienne unique à convexité postérieure, où le corps se positionne à l'arrière du centre de gravité. L'absence de lordose lombaire contraint le bassin à faire un mouvement postérieur en rétroversion et le redressement du corps ne peut se faire qu'au prix d'une plicature du genou.

Chez les hominidés et en particulier chez le genre *Homo*, la verticalisation se fait au gré de la formation de trois courbures rachidiennes – ou quatre, si on ajoute la courbure sacrée : une courbure cervicale formant une lordose (ou pas), une courbure dorsale, une courbure lombaire formant une lordose (ou pas). Chez l'homme moderne, la formation de la lordose lombaire est la conséquence de l'antéversion du bassin, dont la bascule antérieure est suivie de l'extension du sacrum, relevé en arrière.

Cette transformation pelvo-rachidienne a allongé les membres inférieurs, les genoux étant adaptés à des compartiments tibiaux équilibrés. En situation normale, le centre de gravité passe à l'avant de T1 et de T12 et à l'arrière de L1, le membre inférieur se trouvant à l'avant de l'axe gravitaire. Concernant les courbures cervicales et lombaires, on verra plus loin que certaines espèces du genre *Homo* aux vertèbres conservées n'ont formé ni lordose cervicale ni lordose lombaire.

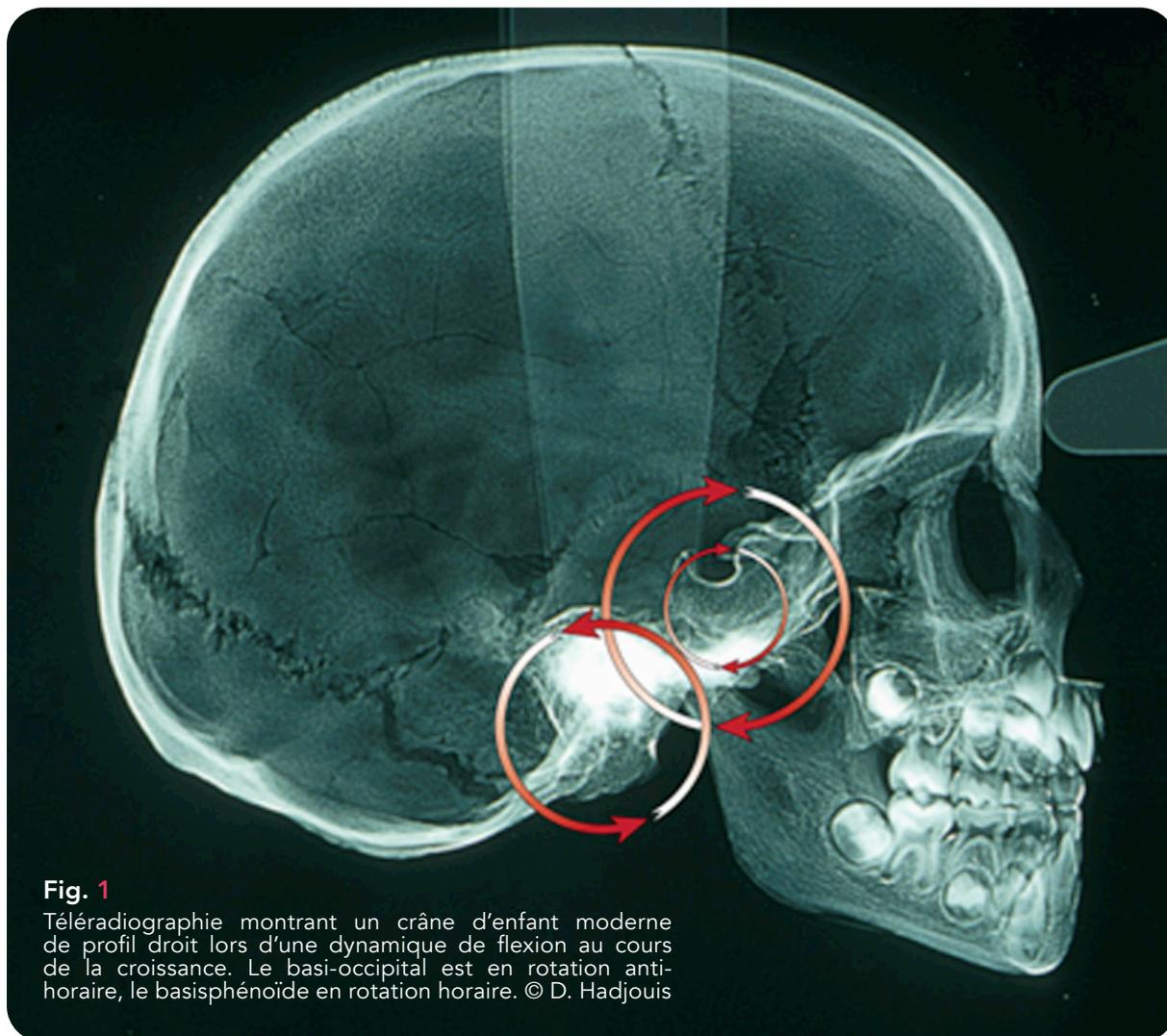


Fig. 1

Téléradiographie montrant un crâne d'enfant moderne de profil droit lors d'une dynamique de flexion au cours de la croissance. Le basi-occipital est en rotation anti-horaire, le basisphénoïde en rotation horaire. © D. Hadjouis

MORPHOGENÈSE CRANIO-FACIALE DE L'HOMME MODERNE ET DU NÉANDERTALIEN

Tous les auteurs qui se sont intéressés à l'architecture du crâne et de la face, depuis Robert Gudin au début des années cinquante, jusqu'à nos travaux (Hadjouis, 1999, 2002, 2011), en passant par André Leroi-Gourhan (1983), Delattre et Fenart (1960), Fenart (1970), Ricketts (1976), Jean Delaire (1978), Marie-Joseph Deshayes (1986), et Anne Dambricourt-Malassé (1987, 2011), ont chacun, en adoptant leurs propres paramètres d'analyse, mis en évidence la mécanique de contraction occipitale, dite rotation positive, dans des trajectoires allant de l'extension à la flexion basicraniennes.

Mais si cette tendance analytique a eu les succès que nous connaissons, c'est que tous ces auteurs ont eu recours à l'imagerie médicale, et en particulier la téléradiographie de profil.

Cette méthodologie (droites, angles, indices) se basant désormais sur une analyse des structures profondes internes a non seulement rendu des services à leurs utilisateurs, maîtrisant ainsi nettement mieux les développements des trajectoires de croissance de la face et de la base du crâne et parfois de l'occlusion du sujet sain, mais également du sujet atteint d'anomalies ou de pathologies (fig. 1).

On sait aujourd'hui que les seules études macroscopiques et morphométriques des os fossiles, utilisées par les paléoanthropologues classiques, n'ont pas eu les mêmes résultats ni la même compréhension morphogénétique et physiologique, encore moins les rapports avec le rachis, le bassin et le membre inférieur.

C'est ce type d'analyses téléradiographiques de profil qui a permis de saisir toute la complexité dynamique entre la face et l'occlusion d'une part et l'arrière-crâne et sa base d'autre part.

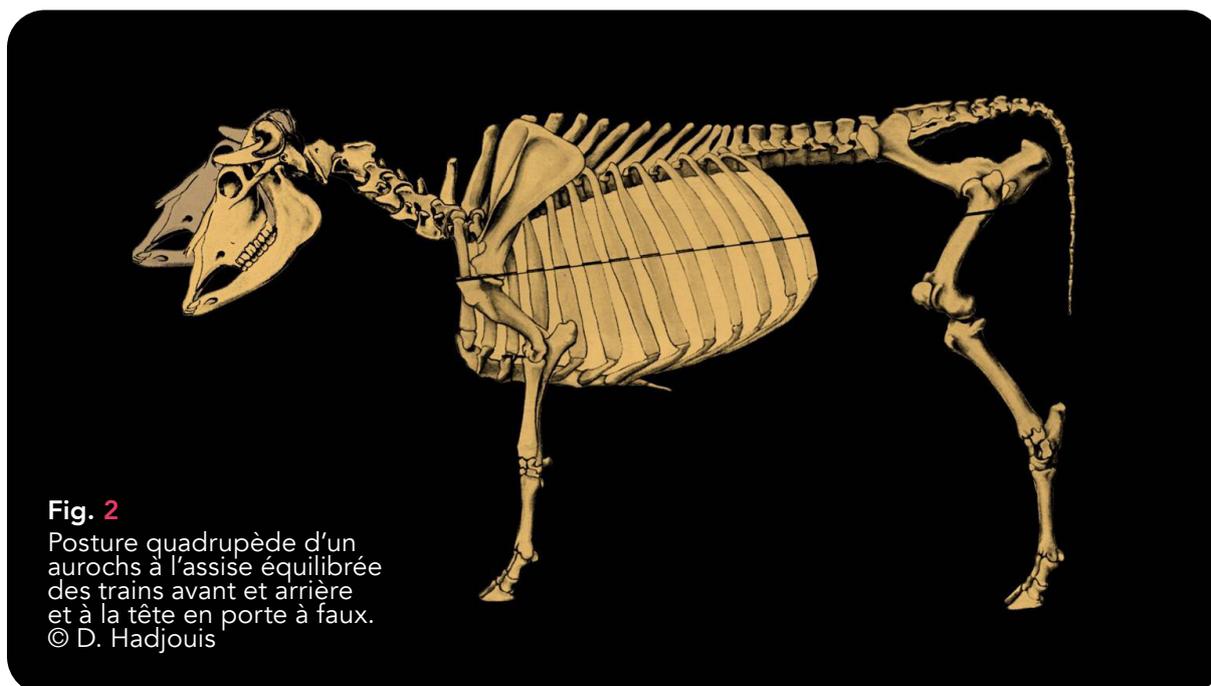


Fig. 2
 Posture quadrupède d'un aurochs à l'assise équilibrée des trains avant et arrière et à la tête en porte à faux.
 © D. Hadjouis

Cette approche holistique appliquée aux mammifères quadrupèdes et bipèdes nous a permis de mieux saisir les fonctionnalités adaptatives posturales. De l'animal à quatre pattes dont la tête en porte à faux est libérée des contraintes mécaniques et physiologiques postérieures au cou, et aux assises le plus souvent équilibrées d'un avant-train et d'un arrière-train, on passe à la station debout chez l'homme, dont la tête au sommet, devrait (en théorie seulement) se maintenir en équilibre stable sur un corps bipodal verticalisé (fig. 2).

Si le premier a réussi son équilibre au sol, sans la moindre asymétrie posturale, en dehors des animaux de trait et de labour, ni de dysmorphoses occlusales, en raison justement d'une projection en avant de la tête, l'homme verticalisé se retrouve doté d'une posture constamment déséquilibrée, dont les mouve-

ments antéro-postérieurs et latéraux du corps livrent des marqueurs fonctionnels indiscutables d'une asymétrie dimensionnelle, d'une anomalie congénitale (luxation coxo-fémorale), d'un post-traumatisme, d'un décalage occlusal (promandibulie, rétromaxillie ou l'inverse, articulé croisé) ou de tout autre phénomène causant un déséquilibre biomécanique.

La construction géométrique d'un triangle (points basion-prosthion et droite perpendiculaire en son centre) appliquée aux fossiles quadrupèdes passe d'un crâne en extension avec un *foramen magnum* à l'arrière de l'occipital avec un angle aux alentours de 120° (fig. 3) à un crâne en flexion dont le trou occipital se situe au milieu de la base du crâne, en miroir avec la première vertèbre cervicale et un angle de 45° chez l'homme moderne (fig. 4).

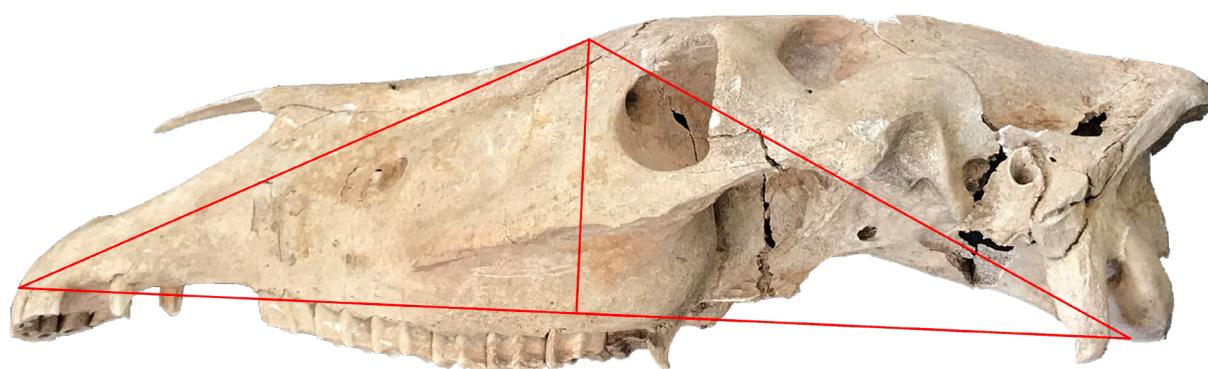


Fig. 3
 Crâne de cheval moderne en vue latérale gauche. Le triangle basion-prosthion est très ouvert, comme pour un grand nombre de mammifères à l'axe céphalo-caudal. © D. Hadjouis

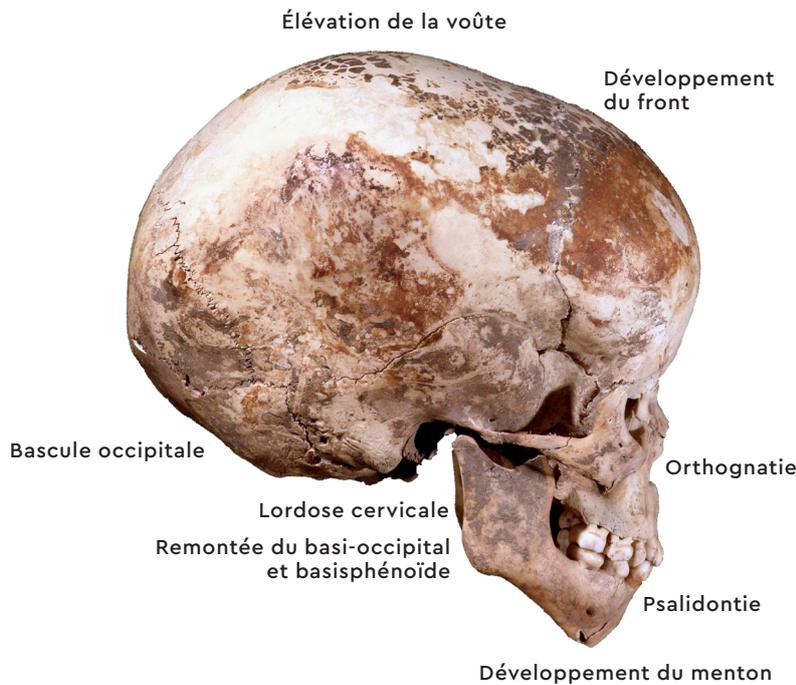


Fig. 4
Crâne d'enfant néolithique en vue latérale droite montrant tous les paramètres morphogénétiques d'une dynamique de flexion. © D. Hadjouis

Autrement dit: cette loi fondamentale traduit une mécanique constante qui situe la relation crâne-face à mi-distance entre le point antérieur du trou occipital (B) et le point antérieur des alvéoles dentaires (P), toute diminution de longueur de l'arrière-crâne basilaire entraîne une diminution équivalente de l'avant-crâne dentaire (Leroi-Gourhan, 1983). Si cette démarche a entraîné l'enthousiasme d'un grand nombre de chercheurs, les modifications occlusales

et la mise en place d'articulés dentaires nouveaux lors de la transformation faciale évolutive, surtout avec l'avènement d'*Homo sapiens*, ne sont pas comprises par la majeure partie des paléontologues, ou à tout le moins non étudiées. De même, la relation avec le rachis, le bassin et le membre inférieur n'est pas suivie, ce qui rend les associations comportementales, anatomophysiologiques et adaptatives peu compréhensibles, car non holistiques.

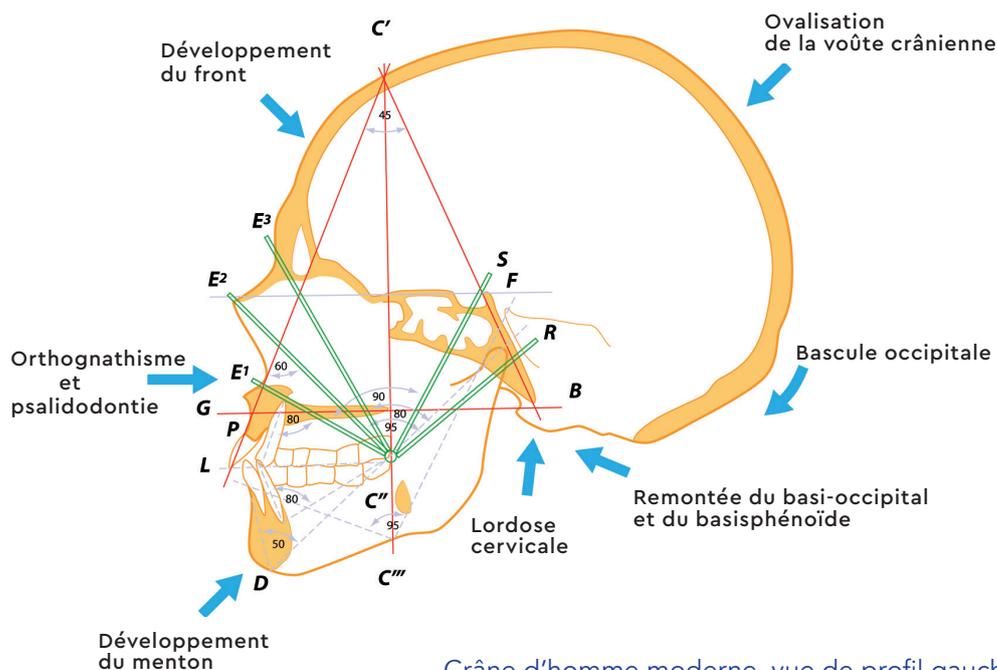


Fig. 5
Crâne d'homme moderne, vue de profil gauche montrant les plans d'organisation d'*Homo sapiens*, dont une dynamique cranio-faciale et occlusale de type flexion active, orthognathe et psalidonte. Schéma d'après Leroi-Gourhan modifié.

Fig. 6

La Chapelle-aux-Saints en vue latérale gauche montrant une dynamique cranio-faciale de type extension: prognathie faciale, labidonte, fort torus sus-orbitaires, voûte basse, chignon occipital, arrière-crâne étiré...
© avec l'aimable autorisation de l'Institut de paléontologie humaine de Paris



Fig. 7

Tibia fossile de néandertalien (Spy), montrant une forte pente tibiale due aux appuis postérieurs des plateaux tibiaux lors de la flexion du genou.
© avec l'aimable autorisation de l'Institut de paléontologie humaine de Paris



Les nombreux travaux portant sur les développements de la morphogenèse cranio-faciale et occlusale effectués sur les hommes modernes du Maghreb et du Sahara (du paléolithique supérieur au néolithique) ont montré dans leur globalité, les caractères dérivés (apomorphie) d'*Homo sapiens* inscrits dans les nouveaux plans d'organisation. En effet, le nouveau palier *sapiens* se démarque entièrement de l'espèce *Homo neanderthalensis* par un renouveau de la face, de l'occlusion et du crâne.

Cependant, si la majorité des caractères de la diagnose sont connus par la communauté des paléontologues et paléoanthropologues, ceux de la base du crâne, et surtout le rapport avec le rachis, le sont moins. La première nouveauté du crâne de *sapiens* est sa forme en flexion, résultat d'une rotation occipitale très active. À partir de cette morphologie (dite vulgairement « en ballon de foot »), voici les caractères apomorphes enregistrés en macroscopie : développement du front, ovalisation de la voûte et augmentation de sa hauteur, recul de la face dans un plan orthognathe, articulé dentaire psalidonte, développement du menton, bascule occipitale, remontée du basi-occipital et du basisphénoïde rendant l'avant du trou occipital incliné vers le haut (fig. 5). C'est cette position inclinée du *foramen magnum* qui donnera au rachis cervical de l'homme moderne ce que l'on nommera plus tard lordose cervicale.

Ce dernier caractère est rarement signalé ailleurs, il est pourtant flagrant si on se donne les moyens de recourir à l'anatomie comparée et à une analyse holistique (Hadjouis, 2021; Dambricourt-Malassé et al., à paraître 2024). Les caractères enregistrés des structures

profondes de l'endocrâne sont : fermeture de l'angle sphénoïdal, verticalisation du clivus, avancée et descente des cavités glénoïdes, frontalisation des pyramides pétreuses, champ cranio-facial équivalent au champ cranio-rachidien. Il nous paraît aujourd'hui évident que les cinétiques endocrâniennes des synchondroses sphéno-occipitale (SSO), sphéno-ethmoïdale et ethmoïdo-frontale ont été les déclencheurs des deux paramètres essentiels de cette évolution *sapiens* que sont la flexion occipitale au niveau de la base du crâne et la psalidontie au niveau de sa face (étage moyen et inférieur). Nous verrons plus loin qu'un autre paramètre tout aussi révolutionnaire est la position du trou occipital et sa relation avec un rachis cervical en lordose ou en cyphose. Et c'est ce dernier point qui a servi à Boule pour mentionner un des caractères différentiels avec la posture de l'homme de Neandertal.

LES RÉPERCUSSIONS SUR LE RACHIS

Si la morphogenèse cranio-faciale et l'occlusion de l'homme moderne sont novatrices, les paramètres macroscopiques et ceux de l'imagerie du néandertalien sont en revanche comparativement presque tous plésiomorphes (archaïques), à l'exception d'une capacité cérébrale, parfois plus élevée que celle de l'homme moderne.

De quoi s'agit-il ? La forme du crâne extensive (dite vulgairement « en ballon de rugby ») est dans une continuité évolutive avec les anté-néandertaliens. L'extension antéro-postérieure cranio-faciale répond à plusieurs

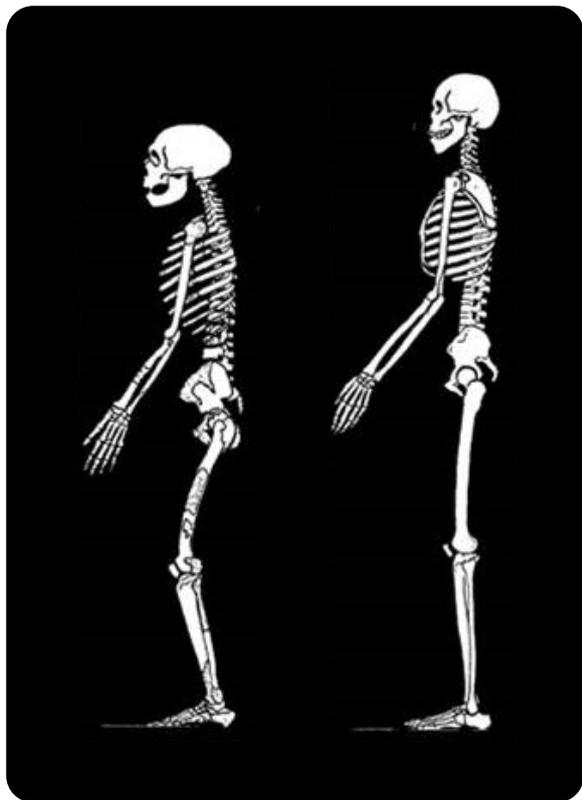


Fig. 8
Reconstitution posturale de l'homme de La Chapelle-aux-Saints par Marcellin Boule, et sa comparaison avec la posture de l'homme moderne.

paramètres : voûte basse, fort torus sus-orbitaire, front fuyant, prognathisme facial, articulé dentaire labidonte, menton absent, absence de bascule occipitale, chignon occipital. La forme géométrique du triangle basion-prosthion est autour de 55° , largement plus ouvert que le format moderne (fig. 6).

Les faits marquants des structures profondes intracrâniennes sont la faible fermeture de l'angle sphénoïdal, la pente du clivus est faiblement redressée, le champ cranio-facial est aussi développé que le champ cranio-rachidien. Retenons au passage que la labidontie est permanente aussi bien chez les jeunes que chez les adultes.

Au total, les bases crâniennes de l'homme moderne et du néandertalien s'avéreront distinctes, car, dans la première, le soulèvement antérieur des zones basi-occipitale et basi-sphénoïdale répond indiscutablement à une articulation cervicale courbe, de type lordose.

Dans la seconde, les zones aplaties du basi-occipital et du basisphénoïde ne justifient pas une courbure à sa jonction occipito-atloïdienne.

L'insuffisance de la lordose cervicale, ou franchement sa cyphose chez le néandertalien, répond à l'insuffisance ou à l'absence de la flexion occipitale. La dynamique anatomophysiologique de cette zone évolue en miroir à son segment lombaire, notamment son articulation lombo-sacrée qui oblige le bassin à faire un mouvement de rétroversion, dont la fonction postérieure amène à réduire la courbure lombaire, parfois à réduire totalement la lordose lors d'une cyphose.

Pour retrouver une posture bien verticalisée, le néandertalien se retrouve forcé de plier les genoux. Ces derniers conservent sur les plateaux tibiaux des fossiles en particulier ceux de La Chapelle-aux-Saints, une importante pente tibiale justifiant des appuis postérieurs lors de la locomotion (fig. 7).

La formation des courbures rachidiennes de l'homme moderne répond à des dynamiques inverses, à savoir que la flexion basicrânienne et son cortège de modifications des structures profondes intracrâniennes se manifestent dans sa partie lombo-sacrée par un bassin en antéversion dont l'étirement vers l'avant accentue la courbure lombaire en lordose. L'exemple contemporain se retrouve chez la femme enceinte, qui développera une hyperlordose due aux étirements antérieurs de la grossesse.



Fig. 9
Rachis cyphotique d'un individu médiéval affecté d'une spondylarthrose ankylosante. La soudure de nombreuses vertèbres dans les trois segments a contribué à une plus forte raideur de la colonne réduisant la lordose lombaire et rétroversant le bassin. © D. Hadjouis

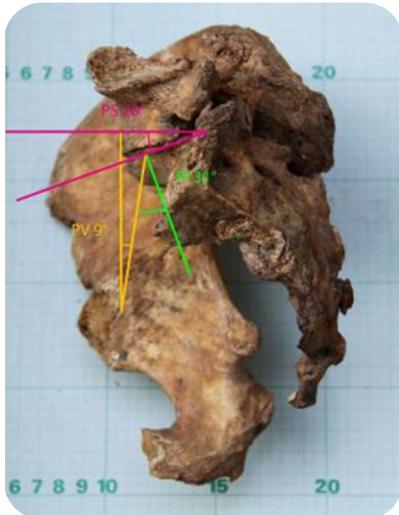


Fig. 10

Sacrum de l'individu cyphotique de la figure précédente. La rétroversion amène à une pente sacrée réduite; associée à la cyphose lombaire, le sacrum suit le mouvement antérieur des os coxaux. © D. Hadjouis et M. Siffre



Fig. 11

Extrémité proximale de tibia appartenant à l'individu cyphotique (fig. 9). La forte pente tibiale suggère une flexion du genou lors de la locomotion, compatible avec la raideur totale et cyphotique du rachis. © D. Hadjouis

Fig. 12
Rachis d'un individu médiéval présentant les courbures classiques. La lordose lombaire est associée à une antéversion du bassin avec un sacrum relevé en arrière. © D. Hadjouis

La reconstitution posturale du squelette néandertalien de La Chapelle-aux-Saints par Boule se justifie donc pleinement, à l'exception du bassin, qui est présenté en antéversion, selon une dynamique *sapiens* (fig. 8).

LES EXEMPLES MÉDIÉVAUX

Les exemples de squelettes historiques mis en évidence lors des fouilles archéologiques montrent des individus qui ont développé une spondylarthrose, parfois ankylosante, sur un rachis totalement cyphotique.

Ces derniers ont été étudiés en comparaison avec des individus de la même nécropole n'ayant pas développé de pathologies dégénératives et dont le rachis présente toutes les courbures physiologiques classiques (Hadjouis, 2018; Siffre et Hadjouis, 2012). L'individu cyphotique est pourvu d'un bassin en rétroversion et d'une pente sacrée faible.

L'absence de lordose se manifeste aussi bien sur son segment cervical que lombaire (fig. 9 et 10). Les deux tibias présentent de forts appuis postérieurs aux compartiments tibiaux, et la pente tibiale est forte (fig. 11). Chez le deuxième individu, le bassin est en antéversion avec une pente sacrée plus forte, le sacrum étant très relevé en arrière (fig. 12 et 13). Les tibias présentent des appuis équilibrés des plateaux.





Fig. 13
Sacrum de l'individu de la figure précédente. L'antéversion montre bien l'augmentation de la pente sacrée qui relève le sacrum.
© D. Hadjouis et M. Siffre

CONCLUSION

Il est clairement établi, et nos travaux le démontrent, que l'analyse holistique des squelettes fossiles et historiques, appuyée par l'anatomie comparée et la biomécanique répondent efficacement aux reconstitutions posturales, à l'instar du squelette néandertalien de La Chapelle-aux-Saints, parfaitement illustré par Boule en 1911. Ce dernier, bien qu'étant au départ géologue et paléontologue des vertébrés, a analysé le squelette et reconstitué sa posture en comparaison avec l'homme moderne, en tenant compte de ses anomalies, de sa pathologie dégénérative de la colonne vertébrale et du traumatisme de son membre inférieur.

Bien que ses détracteurs aient été nombreux, presque un siècle plus tard, y compris chez certains médecins contemporains, notre analyse ainsi que le premier symposium, « L'avenir de *sapiens* et la verticalité », qui lui a été consacré en 2023 dans l'institution qu'il a dirigée (voir Dambricourt-Malassé et al., 2024) montrent le contraire. Ce travail et l'événement scientifique de 2023 rétablissent la remarquable étude paléontologique et posturale de Boule consacrée à l'homme de La Chapelle-aux-Saints.

BIBLIOGRAPHIE

- > Boule, M. 1911. *L'homme fossile de La Chapelle-aux-Saints*, Annales de paléontologie, t. VI, 270 p.
- > Dambricourt-Malassé, A. 1987. *Ontogenèse, paléontogenèse et phylogenèse du corps mandibulaire catarhinien. Nouvelle interprétation de la mécanique humanisante (théorie de foetalisation, Bolk, 1926)*. Thèse de doctorat du MNHN, Paris, 426 p.
- > Dambricourt-Malassé, A. 2011. *Équilibres bipèdes permanents, origine embryonnaire, morphogenèse, équilibre occluso-postural, conséquences pour l'évolution psychomotrice et comportementale des hominidés*. Thèse d'habilitation à diriger des recherches, université de technologie de Compiègne, t. I et II.
- > Dambricourt-Malassé, A., Hadjouis, D., Joffroy, S., Autet, B. (à paraître 2024). *L'avenir de sapiens, une question de verticalité : la preuve par l'homme de Neandertal*.
- > Delaire, J. 1978. « L'analyse architecturale et structurale cranio-faciale (de profil). Principes théoriques – quelques exemples d'emploi en chirurgie maxillo-faciale », *Revue de stomatologie*, 79:1-33.
- > Delattre, A., Fenart, R. 1960. *L'hominisation du crâne*. Paris, 418 p.
- > Deshayes, M.-J. 1986. *Croissance cranio-faciale et orthodontie. Rapports de biodynamique crânienne*. Paris, Masson.
- > Fenart, R. 1970. « L'hominisation du crâne ». *Bull. de l'Académie dent.* 14:33-43.
- > Gudin, R. G. 1951. *Étude du crâne de profil : anthropomorphes et hominiens*. Thèse ès sciences.
- > Gudin, R. G. 1952. *Contribution à l'étude du prognathisme ethnique par la téléradiographie*, thèse, Académie nationale de médecine.
- > Hadjouis, D. 2002. « Les hommes du paléolithique supérieur d'Afalou-Bou-Rhumel (Bedjaia, Algérie). Interprétation nouvelle des cinétiques cranio-faciales et des effets de l'avulsion dentaire. Malformations crâniennes, troubles de la croissance, anomalies et maladies alvéolo-dentaires ». *L'Anthropologie*, 106:337-375.
- > Hadjouis, D. 2011. *Les hommes de Mechta-Afalou d'Algérie. Architecture cranio-faciale, occlusion biodynamique, paléopathologie. L'exemple des hommes paléolithiques d'Afalou-Bou-Rhumel*. Mémoires du CNRPAH, Nouvelle Série, n° 14, 140 p.
- > Hadjouis, D. 2018. *Atlas des maladies et traumatismes du monde médiéval et moderne, v^e-siècle xviii^e siècle*, ISTE éditions, Londres, 276 p.
- > Hadjouis, D. 2021. *Le crâne des vertébrés quadrupèdes et bipèdes. Variations, anomalies et pathologies articulaires*, ISTE éditions, Londres, 256 p.
- > Leroi-Gourhan, A. 1983. *Le geste et la parole, t. I : Technique et langage*, Albin Michel, 323 p.
- > Ricketts, R. M. 1976. « Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs », *Amer. Journ. of Orthodontics*, vol. 70, 3 & 4.
- > Siffre, M., Hadjouis, D. 2012. « La biodynamique cranio-sacrée, application d'un protocole biodynamique sur des populations médiévales et contemporaines ». Poster au symposium international « Ostéopathie et transdisciplinarité, le squelette humain dans tous ses états », École supérieure d'ostéopathie de Paris-Marne-la-Vallée, 24-26 mai 2012.