



Muséum National d'Histoire Naturelle



**International Master in  
Quaternary and Prehistory**

**Reconstruction virtuelle 3D et analyse  
morphométrique du bloc crânio-facial d'un enfant  
*Homo neanderthalensis* de La Quina**

**Jérôme ISLE DE BEAUCHAINE**

**Tuteurs :**

**Christine VERNA**, UMR 7194 - Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique

**Lou ALBESSARD**, Université de York (UK)

*Année académique 2020/2021*



# **Sommaire**

<b>Sommaire</b>	<b>1</b>
<b>Remerciements</b>	<b>2</b>
<b>Introduction</b>	<b>3</b>
Contexte scientifique : étude des individus immatures et de la croissance chez <i>Homo neanderthalensis</i>	3
<b>Matériel et méthodes</b>	<b>8</b>
Le site de La Quina : Contexte historique et archéologique	8
Le bloc crânio-facial La Quina 18 : caractéristiques et état de conservation	11
Le modèle virtuel 3D segmenté de La Quina 18	18
La reconstruction de la face de La Quina 18	23
Définition des points de repère crânio-métriques et des mesures à prendre	29
<b>Résultats</b>	<b>34</b>
Reprise de la segmentation et analyse du modèle 3D	34
Reconstruction virtuelle de la face de La Quina 18	36
Étude morphométrique	38
<b>Discussion</b>	<b>42</b>
<b>Perspectives</b>	<b>46</b>
<b>Conclusion</b>	<b>47</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>49</b>
<b>Table des illustrations</b>	<b>56</b>
Liste des tableaux	56
Liste des figures	56
<b>Annexes</b>	<b>58</b>
<b>Résumé</b>	<b>64</b>

## **Remerciements**

Je souhaite remercier les personnes suivantes, qui m'ont permis de mener à bien la réalisation de ce mémoire de Master 2.

Je remercie en premier lieu mes encadrantes qui m'ont accompagné tout au long du semestre au cours de ce travail de recherche. Tout d'abord Christine Verna, chargée de recherche CNRS au sein de l'UMR 7194 du Département Homme et Environnement du MNHN, de m'avoir renouvelé sa confiance en me proposant de poursuivre ensemble l'étude de cet enfant néandertalien de La Quina, entamée lors de ma première année de Master. Je tiens également à la remercier pour l'aide précieuse et les nombreux conseils qu'elle m'a apportés tout au long de son encadrement, qui m'ont permis de considérablement enrichir ma formation scientifique. Je la remercie également pour son soutien et sa disponibilité, dont j'ai eu la chance de pouvoir bénéficier et qui ont beaucoup compté pour accomplir ce travail de recherche, réalisé dans les conditions si particulières de crise sanitaire de cette année 2021. Je remercie également Lou Albessard, postdoctorante à l'Université de York au Royaume-Uni, d'avoir accepté de me co-encadrer pour ce travail ainsi que pour ses conseils et son accompagnement qui m'ont guidés tout au long du processus de reconstruction de la face de La Quina 18, notamment pour créer les images miroirs des os.

J'adresse mes remerciements à Patricia Wils, responsable du pôle Imagerie et Formation au sein de l'UMS 2700 2AD, pour m'avoir accueilli à la plateforme d'imagerie AST-RX du MNHN et pour ses précieux conseils sur l'utilisation des logiciels Avizo et Geomagic qui m'ont permis de travailler sur les images scanners et le modèle 3D de La Quina 18. Je souhaite remercier également Marta Bellato, responsable technique de la plateforme AST-RX, d'avoir pris le temps de répondre à mes questions et de m'expliquer le fonctionnement du scanner à rayon X utilisé pour acquérir les nouvelles données micro-tomographiques de La Quina 18.

Enfin, j'adresse mes remerciements à Julie Arnaud, de l'Université de Ferrare en Italie, pour m'avoir initié à l'utilisation du logiciel R lors de mon semestre à l'UNIFE dans le cadre du master IMQP.

## **Introduction**

### ***Contexte scientifique : étude des individus immatures et de la croissance chez Homo neanderthalensis***

Les Néandertaliens représentent l'espèce d'hominines éteinte la mieux connue et la plus étudiée (Hublin, 2007 ; Picq, 2014). Ils se distinguent au sein du genre *Homo* par des caractéristiques morphologiques crânio-faciales, dentaires et du squelette post-crânien qui ont fait l'objet de nombreux travaux et sont abondamment documentées (e.g : Hublin, 1998 ; Bailey, 2002 ; Weaver, 2009 ; Churchill 2014). Les observations faites à partir des données paléanthropologiques ont de plus été enrichies avec le séquençage de leur génome nucléaire et mitochondrial (Green *et al.*, 2010 ; Prüfer *et al.*, 2014), qui a permis de confirmer d'une part que les Néandertaliens étaient très semblables entre eux et différents de l'Homme actuel, (Degioanni *et al.*, 2011) et d'autre part, d'estimer que la divergence entre ces deux lignées se situait entre 700 et 350 ka.

Les caractéristiques crânio-faciales et infracrâniennes spécifiques des néandertaliens adultes sont donc bien établies et reconnaissables. Cependant, leur mise en place au cours de l'ontogénie des Néandertaliens, c'est-à-dire leur développement, constitue un sujet bien moins connu et largement débattu. Ainsi, il existe de nombreuses questions sur la chronologie du développement de cette espèce, notamment sur les relations qui existent entre les étapes du développement dentaire et la mise en place de l'architecture crânio-faciale particulière des Néandertaliens, caractérisée entre autre par le prognathisme mi-faciale et une morphologie élargie de la région zygomatoco-maxillaire (Tillier 1986, 1996 ; Bastir *et al.*, 2007).

Le développement dentaire de Néandertal constitue par ailleurs un sujet de débat à part entière, puisqu'on observe également des discussions sur le rythme de maturation dentaire de cette espèce, décrite comme étant soit plus rapide (Ramirez Rozzi et Bermudez De Castro, 2004 ; Smith *et al.*, 2010), soit identique à celle d'*Homo sapiens* (Macchiarelli *et al.*, 2006 ; Rosas *et al.*, 2017, Nava *et al.*, 2020).

Un débat existe aussi sur le développement de l'endocrâne des Néandertaliens, qui semble être différent de celui des *Homo sapiens*. En effet, une phase de globularisation du crâne a été observée en période postnatale chez l'Homme moderne, qui traduirait ainsi des trajectoires ontogénétiques différentes entre les deux espèces (Gunz *et al.*, 2010, Hublin *et al.*, 2015). Cette interprétation est contestée par d'autres auteurs. Selon eux, *Homo neanderthalensis* et

*Homo sapiens* suivraient le même mode de développement de leur endocrâne et auraient donc une ontogénie cérébrale similaire après la naissance (Ponce de León *et al.*, 2016).

En plus de la chronologie de la mise en place des caractéristiques néandertaliennes, d'autres questions se posent sur l'origine de leur morphologie. S'intéresser aux étapes du développement de cette espèce peut ainsi contribuer à déterminer si les différences entre Néandertaliens et *Homo sapiens* émergent de manière prénatale et sont ensuite portées jusqu'à l'âge adulte à travers des trajectoires ontogénétiques parallèles, ou plutôt si ces différences se mettent en place après la naissance (Bastir *et al.*, 2007 ; Maureille, 2011). De plus, avoir une meilleure connaissance de la mise en place des caractères néandertaliens peut permettre de mieux comprendre les processus évolutifs en jeu à l'origine de la morphologie d'*Homo neanderthalensis*.

Plusieurs mécanismes sont en effet évoqués pour expliquer cette morphologie particulière, tels que l'adaptation climatique, la dérive génétique, les contraintes biomécaniques exercées par les dents, ou encore les modifications corporelles résultant de l'activité de l'individu au cours de sa vie (Maureille, 1995 ; Weaver, 2009). Étudier la mise en place des caractéristiques morphologiques lors des différentes phases du développement des Néandertaliens peut ainsi permettre de discuter de l'importance taxonomique relative de ces différents caractères, par exemple en différenciant les traits résultants de processus évolutifs, telles que la dérive génétique ou l'adaptation climatique, et les modifications corporelles produites par l'activité de l'individu au cours de sa vie. Comprendre les mécanismes ontogéniques liés à l'apparition de ces caractères spécifiques représente donc un enjeu scientifique important (Weaver, 2009 ; García-Martínez *et al.*, 2020).

Analyser le développement et la mise en place des caractères néandertaliens nécessite de pouvoir étudier des sujets immatures, à différents stades de leur croissance. Parmi les différents caractères observés sur les enfants néandertaliens, on observe ceux qui les différencient des *Homo sapiens* actuels et qui représentent des caractères soit archaïques (plésiomorphes), soit propre aux Néandertaliens (apomorphes). On observe également des caractères morphologiques qui les différencient des Néandertaliens adultes et qui résultent donc de la chronologie d'apparition des caractères dérivés néandertaliens au cours du développement des individus (Tillier, 1982 et 1986; Madre-Dupouy 1992).

Afin de pouvoir étudier les caractéristiques autapomorphiques d'*Homo neanderthalensis*, il est crucial de pouvoir caractériser la variabilité qui existe chez les individus immatures, pour

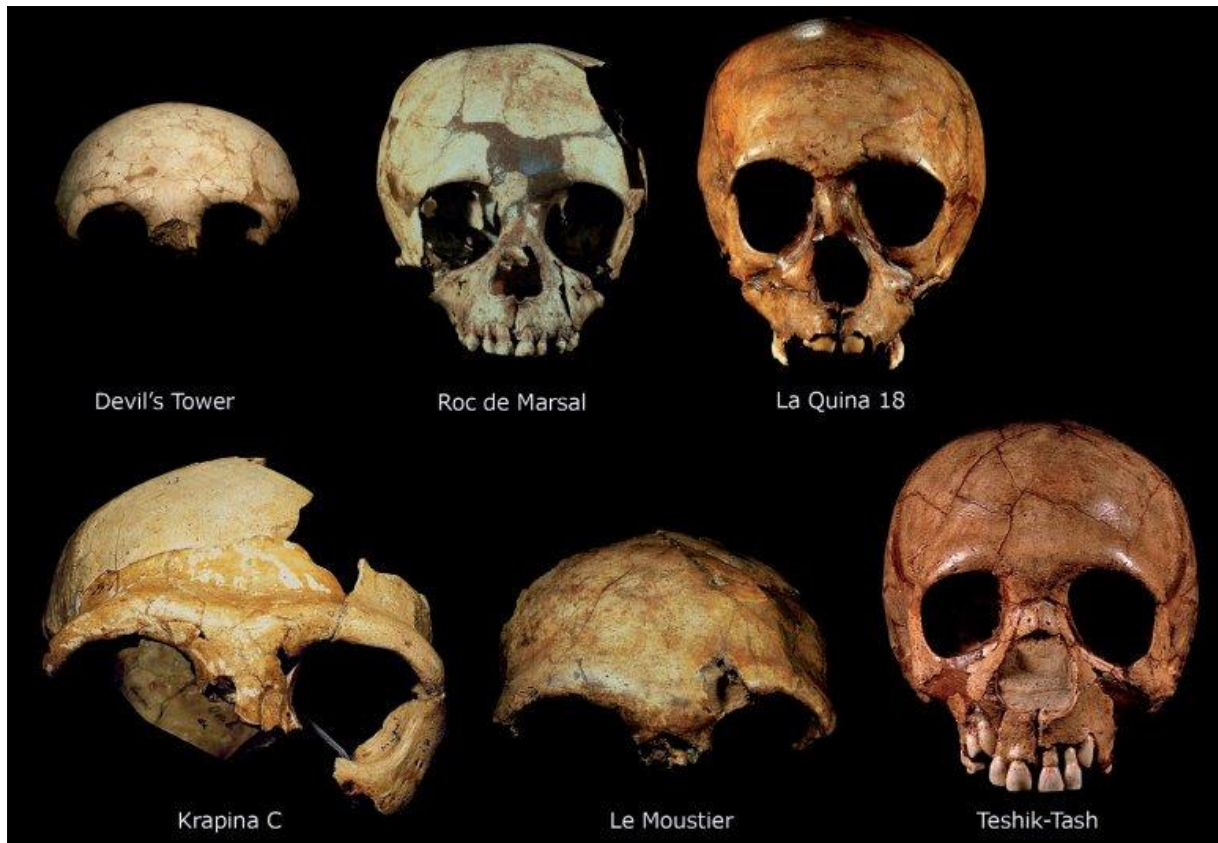
déterminer ce qui relève de caractères juvéniles exprimés dans la séquence ontogénique et ce qui résulte de la variation individuelle au sein de l'échantillon des néandertaliens immatures. Or cette étude de l'étendue des variations individuelles chez Néandertal, et plus largement l'étude de la croissance de cette espèce, est limitée par le nombre peu élevé d'individus immatures retrouvés. Cela induit deux obstacles majeurs : tout d'abord un nombre encore moins élevé d'individus dont l'âge et les caractéristiques cranio-faciales sont identifiables, et ensuite un manque de stades de développement retrouvés dans le registre fossile. De plus, les quelques fossiles découverts sont répartis sur une période chronologique et une aire géographique larges au cours du Paléolithique moyen et supérieur. L'absence d'une contemporanéité proche entre les individus retrouvés est donc également un facteur limitant l'étude des variations ontogénétiques individuelles (Tillier, 1996).

L'étude de la croissance d'*Homo neanderthalensis* se fait donc à partir d'un échantillon restreint, qui malgré sa taille réduite à tout de même permis de reconnaître une séquence dans la mise en place des caractères apomorphes néandertaliens au cours de la croissance. On constate ainsi que la morphologie de la face se met en place de manière plus tardive que le reste de la voûte crânienne (Tillier, 1986). L'identification de cette séquence du développement s'est faite à partir de l'étude d'un petit nombre de fossiles bien conservés d'enfants néandertaliens, repartis entre l'Europe (Belgique, France, Espagne, Croatie), l'Asie (Russie, Ouzbékistan) et le Moyen Orient (Israël, Syrie) et dont les âges au décès estimés sont compris entre 0 et 14 ans (Tableau 1).

Spécimen	Site / Localisation	Âge estimé au décès (a)	Référence
La Ferrassie 5	La Ferrassie, France	foetus	Heim, 1982
La Ferrassie 4	La Ferrassie, France	foetus ou nouveau né	Heim, 1982
Mezmaiskaya 1	Grotte de Mezmaiskaya, Russie	<1	Weaver, 2016
Amud 7	Grotte d'Amud, Israel	<1	Rak, 1994
Le Moustier 2	Le Moustier, France	< 1	Maureille, 2002
Spy 6	Grotte de Spy, Belgique	1 - 2	Crevecoeur, 2010
Pech de l'Aze 1	Pech de l'Azé, France	1,5 - 2	Tillier, 1996
La Ferrassie 8	La Ferrassie, France	2	Gomez-Olivencia, 2015
Dederiyeh 1	Dederiyeh, Syrie	2	Sawada, 2004
Dederiyeh 2	Dederiyeh, Syrie	2	Akazawa, 1999
Roc de Marsal I	Roc de Marsal I, France	2,5 - 4	Madre-Dupouy, 1992
Engis 2	Engis, Belgique	3	Tillier, 1983
Subalyuk 2	Suba-lyuk, Hongrie	3,2	Ponce de Leon, 2001
La Ferrassie 6	La Ferrassie, France	3 - 5	Tompkins, 1987
Gibraltar 2	Devil's Tower, Gibraltar	4,6	Tillier, 1982
<b>La Quina 18</b>	<b>La Quina Amont, France</b>	<b>5 - 8</b>	<b>Verna, 2006</b>
Krapina 46	Krapina, Croatie	6 - 7	Lalueza Fox, 1997
Krapina 1	Krapina, Croatie	6 - 8	Minugh-Purvis, 2000
El Sidrón J1	El Sidrón, Espagne	7,7	Rosas, 2017
Teshik-Tash	Teshik-Tash, Ouzbékistan	8 - 9	Gunz, 2012
La Ferrassie 3	La Ferrassie, France	10	Heim, 1982

**Tableau 1. Liste (non exhaustive) de plusieurs restes notables d'individus juvéniles néandertaliens.** L'âge au décès estimé de chaque individu peut varier selon les publications en fonction des méthodes d'estimations employées.

C'est au sein de ce registre que se trouve le bloc crânio-facial d'un enfant *Homo neanderthalensis* nommé La Quina 18, découvert en 1915 sur le site éponyme de La Quina en Charente (Martin, 1926). Les restes de La Quina 18 font partie des rares exemplaires de têtes osseuses découverts en bon état de conservation pour les néandertaliens immatures, puisqu'une partie importante des os du crâne est préservée, à l'exception de la mandibule qui est manquante (Figure 1 ; Verna, 2006). Ce fossile présente donc un intérêt majeur du point de vue de l'étude de la croissance cranio-faciale des Néandertaliens, et notamment sur la question de la mise en place de l'architecture faciale typique de cette espèce, caractérisée notamment par le prognathisme mi-facial (Tillier, 1986 ; Trinkaus, 1987).



**Figure 1 - Crânes d'*Homo neanderthalensis* présentés du plus jeune (Devil's Tower, également appelé Gibraltar 2) au plus âgé (Teshik-Tash).** Schwartz, 2016 . L'alignement des spécimens permet de voir la mise en place progressive du torus supraorbitaire, une des caractéristiques faciale des Néandertaliens, dont on constate qu'il est en cours de formation sur La Quina 18. Photo : © Schwartz.

Bien que La Quina 18 présente un état de conservation relativement exceptionnel, plusieurs lacunes osseuses importantes ainsi que des défauts dans la reconstitution du crâne ont perturbé jusqu'ici son étude. En effet, les méthodes de reconstitution employées alors (Martin, 1926) ont figé dans des positions incorrectes plusieurs os, en particulier dans la région faciale. Ces placements inexacts des os ont pu être accentués au cours du temps, la cire ayant pu se ramollir avec la chaleur. Associés aux lacunes osseuses dues aux fractures qui parcourent la tête osseuse, ces défauts de reconstitutions ont induit des sources d'incertitudes sur la prise de mesures sur le spécimen et ont jusqu'ici empêché de réaliser notamment une étude morphométrique de la face (cf. 'Matériel : Le bloc crânio-facial de La Quina 18' ; Tillier, 1986 ; Verna 2006).

Réaliser une nouvelle étude de La Quina 18 nécessite donc une nouvelle reconstitution du fossile, afin de corriger les défauts de celle d'origine. Une nouvelle reconstitution physique est

cependant exclue, car elle risquerait d'altérer le spécimen. L'objectif du travail effectué dans le cadre de ce mémoire de Master 2 était donc de réaliser une reconstruction virtuelle 3D de ce fossile, permettant de repositionner les os et reconstruire autant que possible les zones fracturées, puis de réaliser une nouvelle étude morphométrique à partir du modèle reconstruit.

## **Matériel et méthodes**

### *Le site de La Quina : Contexte historique et archéologique*

Le site préhistorique de La Quina est un gisement paléolithique situé en Nouvelle Aquitaine, dans la commune de Garde-le-Pontaroux, à une vingtaine de kilomètres au sud-est d'Angoulême (Figure 2). Le site s'étend sur plus de 700 mètres de longueur au pied d'une falaise calcaire datée du Crétacé supérieur (Debénath, et al., 1998), et est divisé en deux parties distinctes, nommées stations "Amont" et "Aval".

La découverte du site se fait en plusieurs temps. Dès 1872, le préhistorien et géologue G. Chauvet, membre de la Société archéologique de Charente, identifie une station néolithique, puis des restes moustériens à l'intérieur d'une grotte située en haut des falaises (Chauvet, 1897). Le site de La Quina tel qu'il est connu aujourd'hui est découvert plus tard en 1881 lors de la réalisation de travaux routiers réalisés au pied de la falaise (Martin, 1907). Le maire de la commune, F. Lambert, avertit la société archéologique de Charente de la découverte de matériel archéologique, ce qui amène G. Chauvet à revenir fouiller le site de La Quina. Il est le premier à y effectuer des fouilles, dont il publie les premiers résultats la même année, en 1881 (Patte, 1933). C'est au cours de ces premières fouilles que sont identifiées les deux stations qui composent le site, alors dénommées stations "Nord" et "Sud" par G. Chauvet (Martin, 1907). La station Nord révèle un important niveau moustérien riche en faune et en industrie, tandis que des niveaux plus récents sont découverts dans la station Sud avec l'identification d'un gisement magdalénien, qui s'avérera plus tard livrer en réalité des niveaux aurignaciens (Patte, 1933).

En 1905, L. Henri-Martin, médecin et préhistorien, visite le site à la suite des travaux de Chauvet et décide d'acheter le site de La Quina en réalisant l'intérêt que représentent ces gisements (Verna, 2006). Le docteur Henri-Martin installe un laboratoire d'étude proche du site et entreprend alors la fouille méthodique du site pendant trente ans (Henri-Martin, 1965). Ces fouilles réalisées par L. Henri-Martin, assisté des membres de sa famille, sont conduites

avec une rigueur et une méthode remarquables pour l'époque (Verna, 2006). La stratigraphie du site est étudiée en détail (Figure Mat. 2) et des coupes témoins sont laissées dans la perspective de futurs travaux archéologiques. Ces fouilles constituent également un travail pionnier en archéozoologie puisque L. Henri-Martin est l'un des premiers à s'intéresser aux traces d'outils et autres signes d'activités humaines laissés sur les os des animaux (Chase, 1994 ; Debénath *et al.*, 1998).

Au cours de ses travaux, L. Henri-Martin met à jour de très nombreux restes dans les deux stations, qu'il renomme Amont et Aval, selon leur position par rapport au cours d'eau voisin, le Voultron. À sa mort en 1936, sa fille, G. Henri-Martin, reprend ses recherches et lance une nouvelle campagne de fouilles à La Quina à partir de 1953 (Henri-Martin, 1965). Ses travaux, menés jusqu'en 1972, permettent de préciser la stratigraphie du site et de réaliser plusieurs datations radiométriques (Verna, 2006).

La Quina-Amont ne sera ensuite plus étudiée, jusqu'en 1985, où une nouvelle campagne de fouille est menée par une équipe franco-américaine (Debénath, et al., 1998). Ce nouveau programme de recherches permet de compléter et de reprendre l'étude stratigraphique du site et d'obtenir des informations sur les paléoenvironnements.



Figure 2 - Localisation du site. Données cartographiques. © IGN.

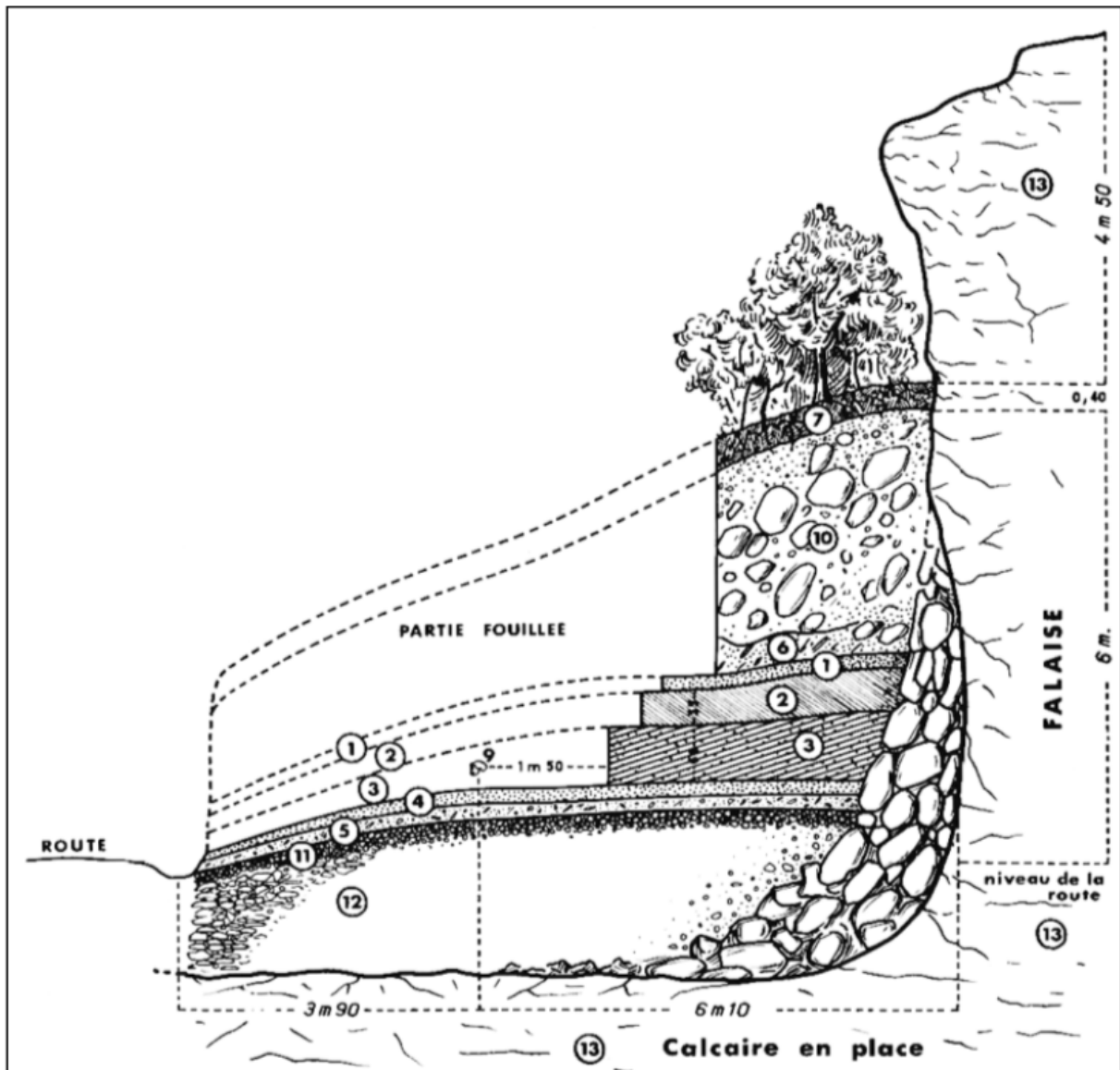


FIG. 2. — Coupe entre B et C (d'après H. Henri-Martin).

1: couche sableuse supérieure (industrie moustérienne). — 2: couche argilo-sableuse. — 3: couche argilo-sableuse verdâtre (Charentien). — 4: couche de sable. — 5: cailloutis contenant une industrie moustérienne archaïque. — 6: éboulement postmoustérien. — 7: terre végétale. — 8: éboulement pré-moustérien. — 9: position du crâne (Homo 5). — 10: couche correspondant à la dernière occupation moustérienne. — 11: couche de fragments de calcaire roulés, colorés en noir (oxyde de manganèse). — 12: couche de fragments de calcaire colorés en rouge (oxyde de fer). — 13: calcaire en place.

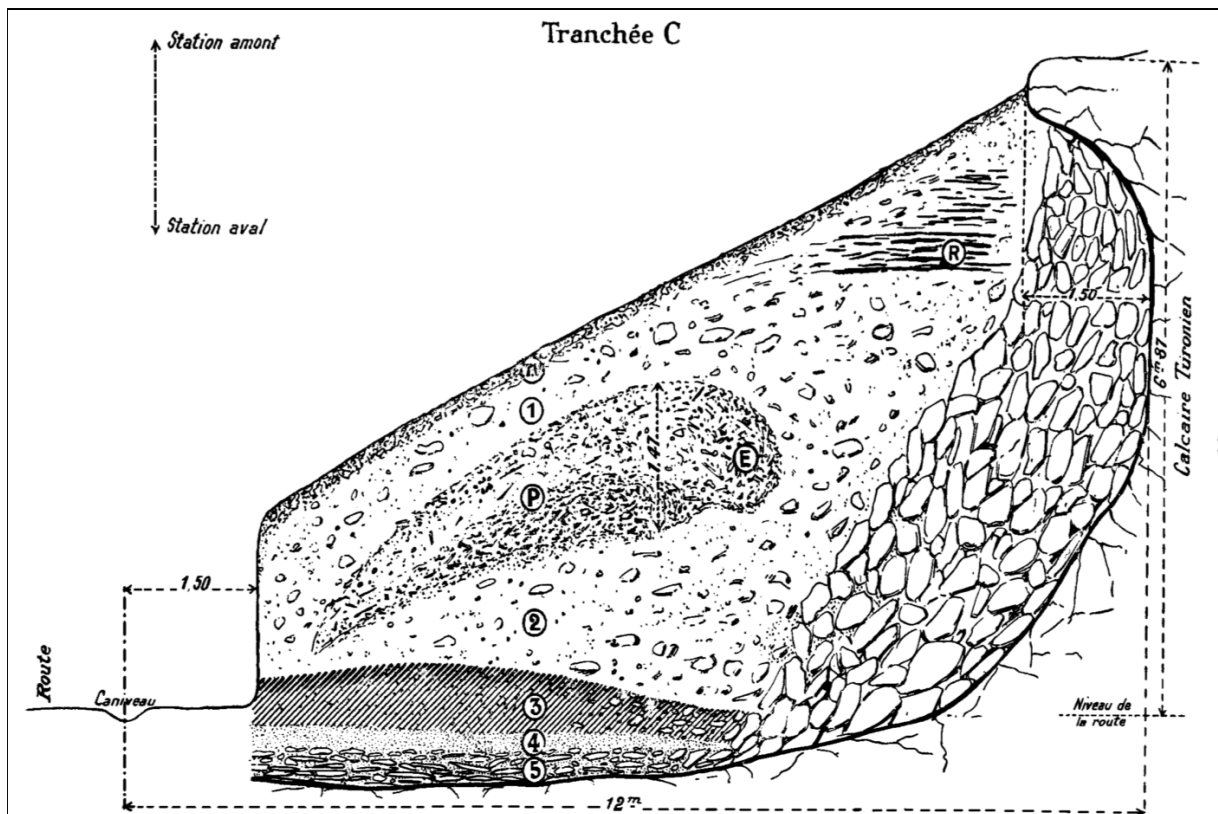
Figure 3 - Coupe stratigraphique de la station Amont, établie par L. Henri-Marti. (G. Henri-Martin, 1965).

Les deux stations de La Quina ont livré deux séquences stratigraphiques distinctes. La station Amont contient une succession de plusieurs niveaux moustériens datés par méthode OSL (Luminescence Stimulée Optiquement) sur grain de quartz de 63 - 55 ka à la base et jusqu'à 43 - 40 ka pour le niveau d'occupation le plus récent (Frouin *et al.*, 2017). Ces niveaux contiennent des industries moustériennes de types Quina, de tradition acheuléenne et à denticulés, ainsi que des restes fauniques abondants (renne, bison, cheval) bien conservés (Chase, 1994 ; Debénath *et al.*, 1998). La station Aval contient des niveaux plus récents, avec une séquence comprenant des niveaux châtelperoniens et aurignaciens anciens et récents dans lesquels ont été retrouvés des restes d'*Homo sapiens* (Verna *et al.*, 2012 ; Hublin, 2013).

La station Amont a quant à elle livré 53 restes humains, découverts au cours des trois campagnes de fouilles ayant eu lieu entre 1905 et 1994. Ces 53 restes correspondent à un nombre estimé d'individus compris entre 8 et 32, incluant entre 5 et 26 adolescents / adultes et entre 3 et 6 enfants (Verna, 2006 et 2010). Cette série de restes comprend un squelette adulte, appartenant à une femme *Homo neanderthalensis* (Martin, 1923), 36 restes isolés comprenant des dents et des éléments du squelette crânien et post-crânien, ainsi que la tête osseuse de l'enfant néandertalien La Quina 18 (Verna, 2006).

### ***Le bloc crânio-facial La Quina 18 : caractéristiques et état de conservation***

Le fossile La Quina 18 a été mis au jour dans la station Amont en 1915, par Mme Henri-Martin et ses enfants, alors que son mari était mobilisé pour servir au front. Ce bloc crânio-facial était localisé à l'intérieur d'une "poche" très dense en industrie moustérienne et en ossements, située dans la couche 2 de la tranchée C, selon la stratigraphie définie par L. Henri-Martin (Figure 4). Cette couche 2 correspond à l'ensemble G et la tranchée C au locus 1, définis par A. Debénath lors des campagnes de fouilles entreprises de 1985 à 1994. On trouve dans cet ensemble G une industrie moustérienne, composée principalement de grattoirs et de denticulés (Debénath *et al.*, 1998 ; Verna, 2006 ; Frouin, 2017).



**Figure 4 - Relevé stratigraphique de la tranchée C** selon L. Henri-Martin (Martin, 1923, in : Verna, 2006). La lettre "P" indique la localisation de la poche très dense en industrie moustérienne et en ossement, où a été retrouvé le bloc crânio-faciale de La Quina 18, marqué par la lettre "E".

Une fois découverte, la tête osseuse de ce néandertalien immature ne fut pas dégagée entièrement *in situ*, mais prélevée à l'intérieur d'un bloc de sédiment qui en contenait les fragments. C'est le docteur Henri-Martin qui s'occupa de dégager la tête et de commencer la reconstitution au cours de ses permissions, puis après la guerre jusqu'en 1919. En plus de la reconstitution entreprise par L. Henri-Martin, La Quina 18 fera également l'objet d'un travail de consolidation au Laboratoire de Paléontologie du Muséum en 1957 (Verna, 2006). Ce fossile représente une découverte d'exception, d'une part en tant que matériel d'étude, mais également d'un point de vue historique puisqu'il s'agit du premier fossile d'individu immature européen à avoir fait l'objet d'une étude anthropologique lorsque Henri-Martin en publia la description en 1926 (Martin, 1926 ; Tillier 1986).

Les restes de La Quina 18 sont composés d'une grande partie du squelette crânio-facial, auquel manque la mandibule. Les dents présentes sur le plan occlusal sont les quatre molaires déciduales et les deux premières molaires permanentes (M1). La maturation dentaire de ce spécimen a conduit Henri-Martin à proposer un âge au décès de 8 ans, avant que des études

basées sur des examens de radiographies des dents ne proposent ensuite un âge situé plutôt entre 6.5 et 7.6 ans. Comme énoncé dans l'introduction, la chronologie de maturation dentaire d'*Homo neanderthalensis* étant encore aujourd'hui soumis à débat, l'estimation de l'âge au décès des néandertaliens immatures rencontre plusieurs limites méthodologiques (Verna, 2006 ; Smith, 2010). En tenant compte de ces limitations, une estimation de l'âge au décès comprise entre 5 et 8 ans, avec un âge probable autour de 6.5 ans est aujourd'hui proposée pour La Quina 18 (Verna, 2006).

L'examen des caractéristiques morphologiques de ce bloc crânio-facial permet d'identifier plusieurs apomorphies néandertaliennes, qui permettent d'attribuer ce spécimen à l'espèce *Homo neanderthalensis*. Ces caractères sont la forme arrondie des orbites ; l'effacement des bosses pariétales associé à la position basse de la largeur maximale du crâne, produisant la forme "en bombe" du crâne en vue postérieure, typique de la morphologie néandertalienne ; la fosse sus-iniaque située sur l'os occipital, associée à une forte convexité du plan occipital et enfin la morphologie zygomatoco-maxillaire. En tant qu'individu immature, La Quina 18 n'exprime cependant pas encore tous les caractères néandertaliens. Ainsi, la projection mi-faciale n'est pas encore mise en place et le relief sus-orbitaire est en cours de développement (Tillier, 1986, Verna 2006).

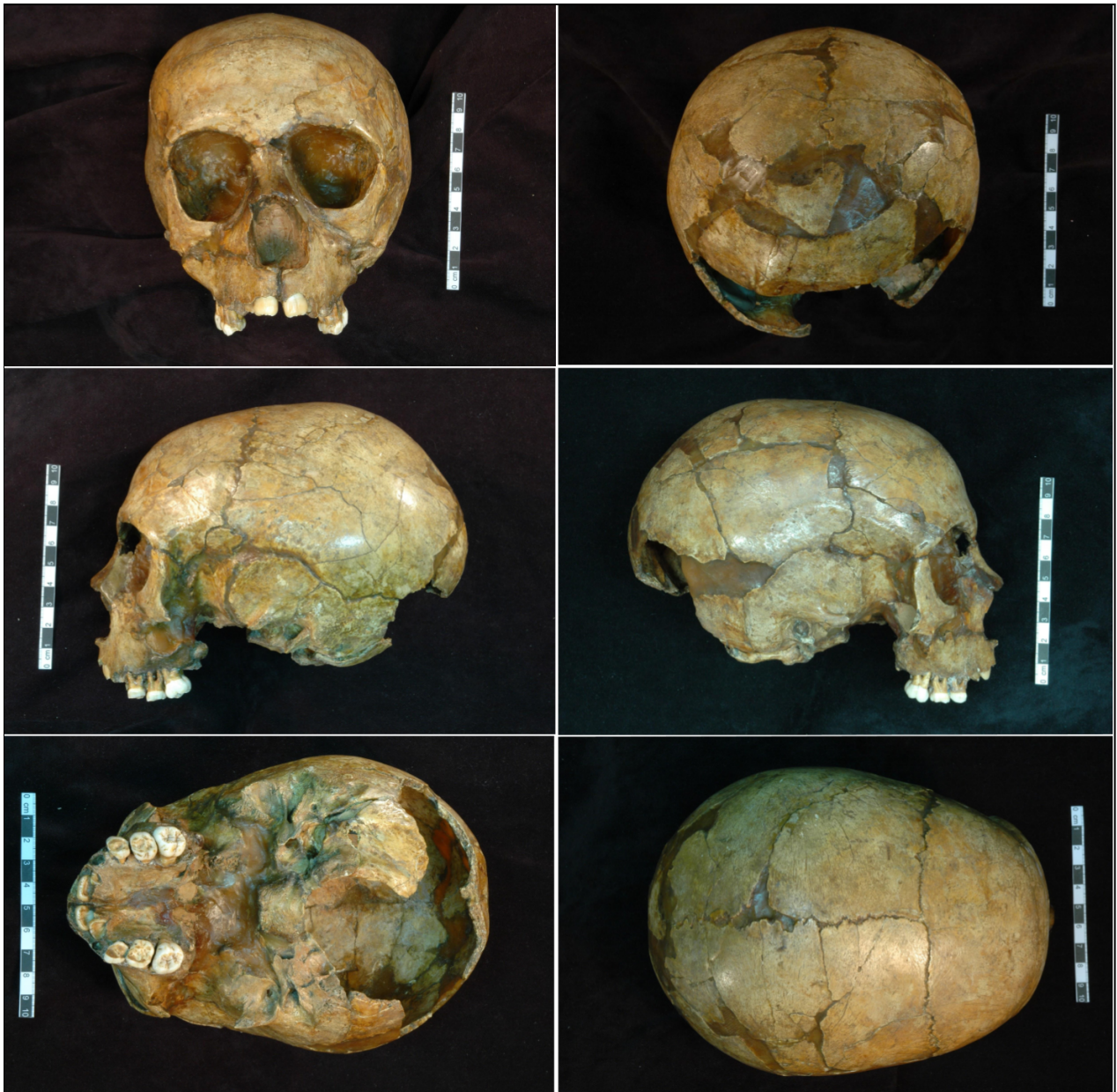
En termes de dimensions, La Quina 18 s'intègre bien à l'échantillon néandertalien, mais présente des valeurs inférieures à la plupart des enfants néandertaliens d'âge proche, quelle que soit la mesure prise. Avec une longueur maximale de 171.8 mm (mesurée entre la glabelle et l'opisthocrânion), et une largeur maximale de 131.9 mm (mesurée entre les deux euryons), le crâne est en effet plus petit que celui d'autres néandertaliens d'âge proche. La hauteur du crâne (basion - bregma) est de 121 mm, bien qu'il existe une incertitude quant à cette mesure en raison du mauvais placement du fragment comportant la partie basilaire de l'occipital. Au niveau de la face, La Quina 18 présente également des dimensions inférieures aux autres enfants néandertaliens d'âge similaire, avec une largeur frontale minimum estimée à 89.2 mm, bien qu'il y ait là aussi une incertitude en raison de la mauvaise position d'un fragment du côté droit et une largeur maximale qui atteint 107.3 mm (Verna, 2006).

Ces incertitudes sur les mesures prises sur le spécimen original sont dues à l'état de conservation actuel de La Quina 18 et à sa reconstitution originale, qui a été entreprise pour tenter de combler les lacunes osseuses et réassembler les os. En effet, lors de sa découverte en

1915, les os de la face se sont séparés du neurocrâne. Ceux du neurocrâne sont restés en connexion anatomique, mais pas ceux de la face qui ont donc été déplacés.

De plus, une partie de la base du crâne est manquante, ainsi que les plus petits os de la face : le vomer, l'ethmoïde, les deux palatins et les deux lacrymaux. De nombreuses fractures sont également présentes, en particulier sur les maxillaires où le bord alvéolaire laisse apparaître les incisives permanentes qui n'avaient pas encore atteint le plan occlusal ; ainsi que sur l'occipital, qui est séparé en 3 fragments distincts. Les pariétaux sont légèrement déformés vers l'intérieur de la boîte crânienne, en particulier à droite, mais sont dans l'ensemble bien conservés. L'état de conservation des os du crâne est par ailleurs assez inégal (Figure 5) : le frontal est pratiquement complet, pour sa partie verticale. Les lacunes sont situées sur la partie horizontale, qui est manquante, ainsi que la partie médiale du bord orbitaire gauche qui est cassée. À droite, la partie comprenant la face temporale est fracturée et légèrement enfoncée à l'intérieur du crâne, ce qui altère le bord coronal dans cette zone, bien préservé par ailleurs sur le reste du frontal. Les autres lacunes de l'os frontal sont situées sous la glabelle au niveau de la suture naso-frontale qui est incomplète, l'épine nasale étant manquante et le bord nasal incomplet. Les temporaux, quant à eux, sont relativement complets, à l'exception des processus zygomatiques qui sont manquants des deux côtés. L'os sphénoïde est très altéré puisqu'il ne reste qu'une partie des grandes ailes à gauche et à droite ; le corps, les petites ailes et les processus ptérygoïdes n'ayant pas été conservés.

Concernant les os de la face, on observe un bon état de conservation pour les zygomatiques qui sont bien préservés, sauf les processus temporaux qui sont brisés. Les bords maxillaires, temporaux et orbitaires des zygomatiques sont en meilleur état à gauche qu'à droite. L'os nasal gauche est mieux préservé que le droit, qui est fracturé. La plus grande partie du corps des maxillaires est préservée, à l'exception de la face orbitaire. Plusieurs fractures sont à noter, en particulier sur le maxillaire droit qui est parcouru par une longue cassure sur la face antéro-latérale et qui altère le processus zygomatique. Le processus frontal est cassé des deux côtés, mais atteint l'os nasal à droite. Le processus palatin est lui préservé en grande partie. Le processus alvéolaire est endommagé, ce qui a pour conséquence de rendre les quatre incisives permanentes visibles. On observe les quatre molaires déciduales et les deux premières molaires définitives *in situ*.



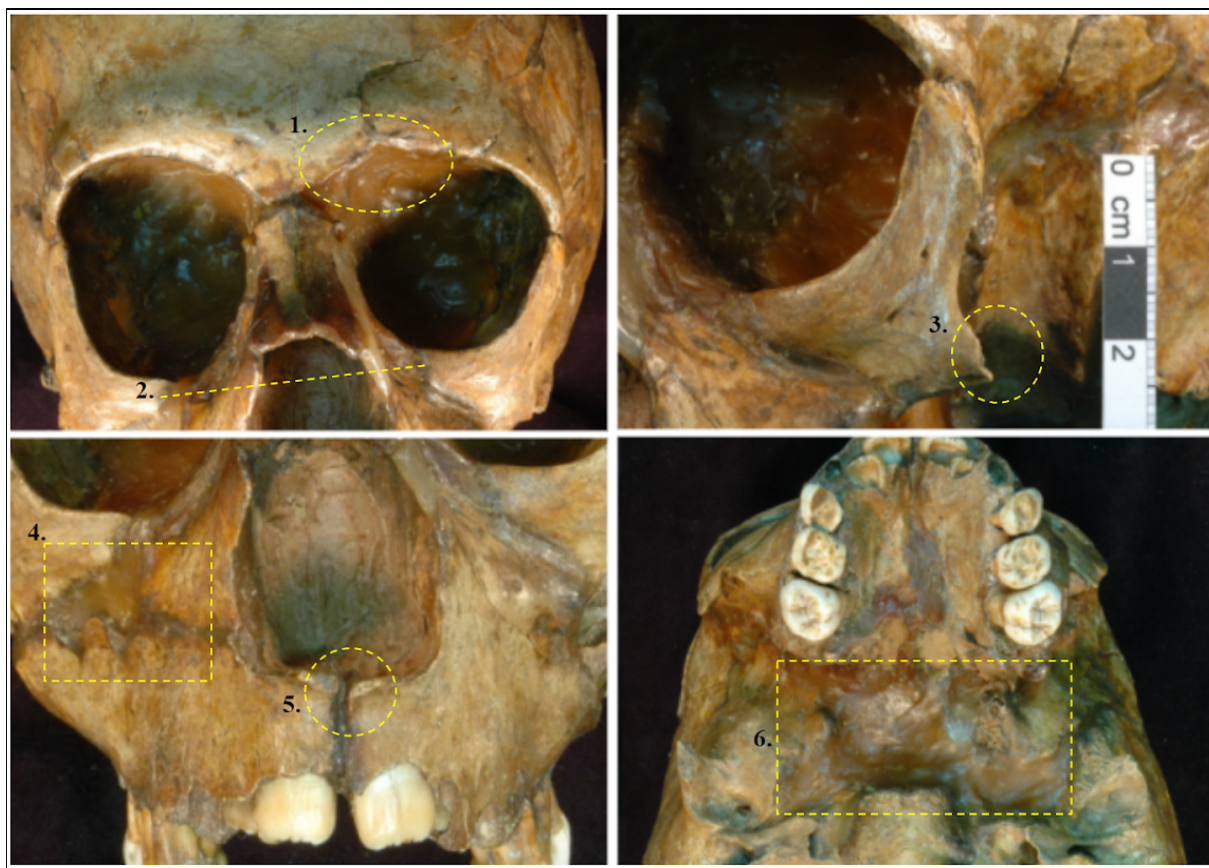
**Figure 5 - Photos des vues antérieure et postérieure, latérale gauche et droite, inférieure et supérieure de la tête osseuse après reconstitution par L. Henri-Martin. On distingue à l'intérieur des cavités et entre les fragments osseux la matrice constituée du mélange cire - paraffine - essence de térébenthine. © photos C. Verna**

Les cavités nasales et orbitaires, ainsi que les espaces entre les os, ont été comblés par de la cire pour la reconstitution du crâne (Figure 5 et 6). Cette cire, mélangée à de l'essence de térébenthine et de la paraffine, a été utilisée par Henri-Martin afin de réunir les fragments de la tête osseuse ensemble et combler les vides laissés par les parties osseuses manquantes. Des feuilles d'étain furent également placées à l'intérieur de la tête afin de maintenir les éléments les plus fragiles (Verna, 2006).

Comme énoncé plus haut, cette reconstitution présente de nombreux défauts qui ont limité jusqu'à présent l'étude morphométrique du spécimen, certaines mesures ne pouvant être prises, ou avec une incertitude importante (Tillier, 1986 ; Verna 2006). Tout d'abord, la cire utilisée pour assembler les os entre eux se retrouve dans les cavités naturelles du crâne et masque ainsi de nombreuses zones de contacts entre les os. Cela a pour conséquence de limiter l'étude de l'état de conservation réel des os de La Quina 18, en perturbant leur observation et empêche d'évaluer correctement la position de certains points de repères crâniométriques.

L'autre grand problème de cette reconstitution originale concerne la position des os, au niveau de leurs zones de contacts. Ainsi, l'os frontal présente des contacts incorrects avec les os nasaux et les zygomatiques. On constate également des décalages entre plusieurs os de la face : le maxillaire droit est surélevé par rapport au maxillaire gauche et les os zygomatiques ne sont pas correctement alignés entre eux.

Ces éléments, associés à un décalage global des os de la face vers la gauche ainsi qu'une mauvaise reconstitution des orbites, rendent impossible la prise de mesures fiables de la face, ainsi que la caractérisation de l'architecture cranio-faciale dans son ensemble (comme les rapports face-crâne et face-base par exemple). Ces défauts de reconstitution, associés aux diverses lacunes et fractures osseuses (Figure 6), rendent discutables le positionnement de plusieurs points craniométriques utilisés par L. Henri-Martin dans l'étude d'origine de La Quina 18 (Tillier, 1986 et Verna, 2006). Ces problèmes engendrent des sources d'incertitudes sur plusieurs mesures, comme la distance basion - oral, nasion - bregma, la largeur frontale minimum, les dimensions du foramen magnum ou les dimensions des orbites. La plupart des mesures de la face, et les dimensions reflétant l'architecture crânio-faciale ne peuvent donc être prises sur le fossile original, et aucune analyse d'ensemble en trois dimensions du bloc crânio-facial ne peut être réalisée.



**Figure 6 - Principaux éléments limitants l'étude morphométrique de La Quina 18.** 1. Bord orbitaire gauche fracturé. 2. Mauvais positionnement et décalage des zygomatiques entre eux. 3. Processus temporal cassé. 4. Face antéro-latérale du maxillaire droit fracturée, et contact avec l'os zygomatique masqué par la cire. 5. Positionnement incorrect des maxillaires qui ne sont pas alignés. 6. Cavités du crâne obstruées par la cire, qui perturbe l'observation des os.

L'étude métrique de La Quina 18 est donc à ce jour incomplète et nécessite d'être approfondie. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une nouvelle reconstitution du crâne, qui permettrait de corriger les défauts de l'originale et de compléter si possible les lacunes osseuses en reconstruisant ces zones. Un tel travail de reconstitution ne peut se faire physiquement sur la pièce d'origine, le risque d'altération des os étant trop important. Pour éviter tout dommage sur le fossile, un travail non invasif de reconstruction virtuelle, basé sur des données microtomographiques (ou CT-scan) a donc été entamé lors de la première étape du projet, en Master 1. La suite de ce projet de recherche a été réalisée cette année en Master 2 et se décompose en deux grandes étapes. Le premier objectif était de produire dans un premier temps une reconstitution virtuelle qui corrige les problèmes indiqués ci-dessus. L'étape suivante est de réévaluer les variables ostéométriques, pour lesquelles des incertitudes existent en raison des défauts de reconstitution du bloc crânio-facial, et d'en obtenir de nouvelles afin de réaliser une nouvelle étude morphométrique de La Quina 18.

## ***Le modèle virtuel 3D segmenté de La Quina 18***

La reconstitution de La Quina 18 s'est donc faite à partir de méthodes virtuelles, grâce à une discipline développée depuis la fin des années 1990 : l'anthropologie virtuelle. Le terme anthropologie virtuelle réfère à l'ensemble des technologies digitales permettant une nouvelle approche de l'étude du matériel fossile paléanthropologique (Zollikofer *et al.*, 1998 ; Weber, 2015). Cette discipline a comme caractéristique principale de travailler à partir de modèles numériques des spécimens étudiés et non plus directement sur les originaux (Zollikofer et Ponce de León, 2005). L'anthropologie virtuelle se décompose en six étapes clés : digitaliser l'échantillon, révéler sa structure interne, comparer à d'autres données de référence, reconstituer les données manquantes selon le type d'altération qu'a subi l'échantillon, le matérialiser en créant un modèle 3D et enfin partager les données obtenues grâce à ces modèles virtuels, plus facile à diffuser que du matériel fossile (Weber 2015).

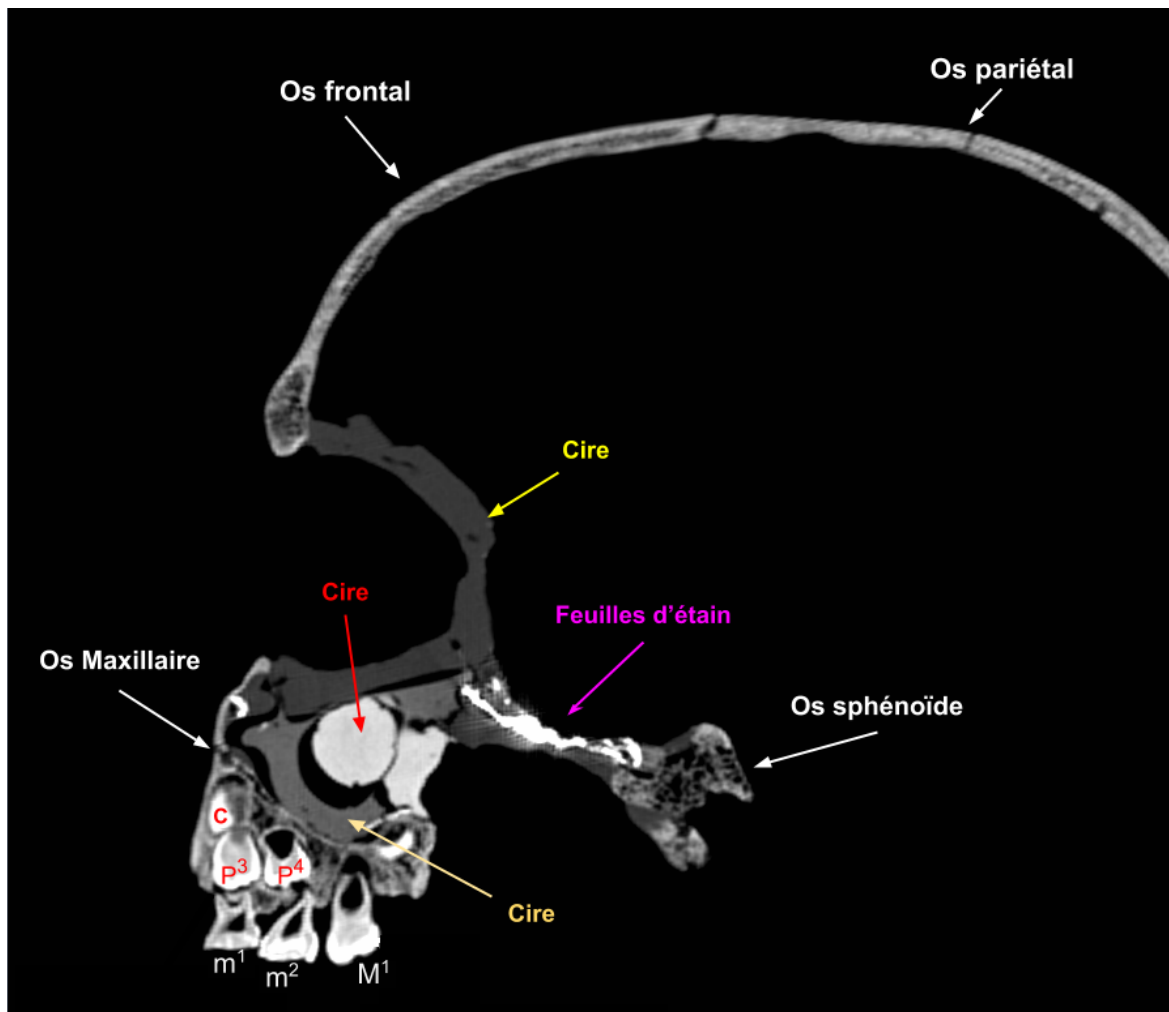
On retrouve parmi les méthodes utilisées en anthropologie virtuelle la tomographie informatrice, aussi appelée CT scan ("*Computed-Tomography scanner*"). Cette méthode, développée depuis les années 1970, a pour principe de reconstituer une image en 3 dimensions d'un objet après l'avoir exposé à une série de clichés radiographiques sous plusieurs angles grâce à l'absorption différentielle des rayons X par les différents matériaux (ou tissus) qui le composent (Hounsfield, 1973).

Les images scanners sont construites à partir de matrices de pixels, chaque pixel étant défini par une valeur numérique représentant son niveau de gris. Le niveau de gris correspond à la valeur d'absorption du matériau. Plus le matériau est dense, comme l'os, plus sa valeur d'absorption est élevée, ce qui se traduit graphiquement par des nuances de gris très clair se rapprochant du blanc. À l'inverse, un matériau avec une densité nulle ou quasi nulle comme l'air, a une valeur d'absorption très faible et apparaît sur l'image avec des nuances de gris très foncé se rapprochant du noir. La valeur des coefficients d'absorption des matériaux est enregistrée et leurs différences calculées par ordinateur, permettant de restituer une image volumique de l'objet à partir des images en coupes. Une fois cela défini, il est alors possible informatiquement de faire la différence entre des matériaux ayant des densités très proches et d'en étudier plus précisément leur structure, ce qui confère au scanner une sensibilité bien plus importante que l'imagerie par radiographie traditionnelle (Hounsfield, 1973).

Conçu à l'origine pour un usage médical, le scanner à rayon X a commencé à être employé régulièrement en paléontologie et en archéologie dès le début des années 1980 (*cf.* Zollikofer

1998 ; Becam, 2017), en raison de ses nombreux avantages : son caractère non invasif, adapté à la fragilité des échantillons ; une sensibilité bien plus élevée que la radiologie classique, offrant une bien meilleure qualité d'observation et la possibilité de numériser les données, permettant le stockage, la transmission et le traitement des informations à plus grande échelle (Cabanis *et al.* 2007). L'utilisation des rayons X en paléanthropologie précède cependant de loin l'invention du scanner et de l'imagerie 3D puisque dès 1902, une étude des détails internes du matériel néandertalien de Krapina fut publiée à partir de clichés radiographiques (Gorjanović-Kramberger, 1902 in Weber, 2015).

Afin de pouvoir reconstituer un modèle en 3 dimensions qui permettrait de servir de base à la reconstitution de La Quina 18, un scanner de la tête osseuse a donc été réalisé en 2006 à l'hôpital du Val de Grâce à Paris par C. Verna, en collaboration avec J. J Hublin et M. Braun. Les images en coupes de ce scanner résultent de trois sets d'acquisition selon trois axes différents avec une résolution de 430  $\mu\text{m}$ . Ces images issues des trois sets d'acquisition ont ensuite été fusionnées par H. Temming à l'Institut Max Planck d'Anthropologie Évolutive (Leipzig, Allemagne), afin d'obtenir une résolution théorique de 200  $\mu\text{m}$ . L'examen des images en coupes de La Quina 18 permet d'observer trois types de cire distincts à l'intérieur des cavités de la face, ainsi que des fragments de feuilles d'étain mentionnées par L. Henri-Martin pour sa reconstitution et les dents permanentes, situées encore à l'intérieur des maxillaires (Figure 7).



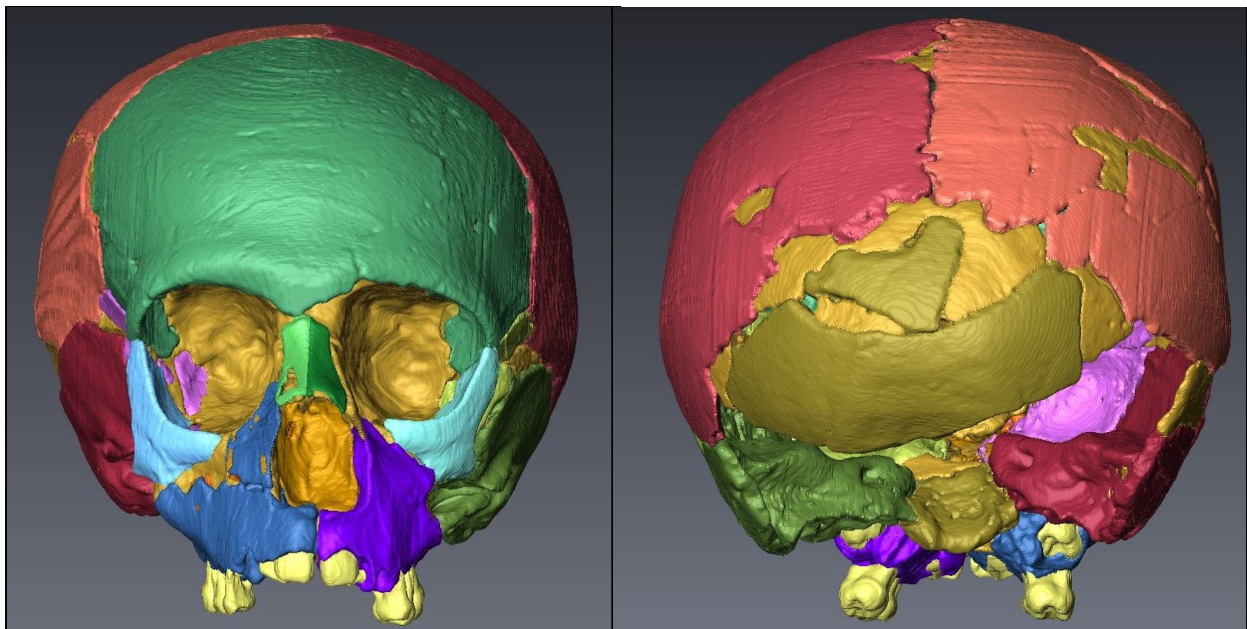
**Figure 7 - Coupe numéro 382 de l'axe [YZ] issue du scanner de La Quina 18.** Cet axe de coupe correspond à une coupe parasagittale du côté droit. On distingue les os du bloc crânio-facial ; les différents types de cires reconnaissables à leur texture homogène de trois densités différentes ; et les feuilles d'étains utilisées par Henri-Martin pour la reconstitution d'origine. Les molaires déciduales ( $m^1$  et  $m^2$ ) sont également visibles sur le plan occlusal avec la première molaire permanente ( $M1$ ), tandis que la canine permanente et les deux prémolaires sont observables à l'intérieur de leur crypte.

Les données obtenues par CT scan peuvent ensuite être traitées selon des techniques de segmentation, dont le principe consiste à séparer virtuellement les différents composants d'un échantillon scanné (Zollikofer et Ponce de León, 2005). La segmentation s'effectue à partir de la visualisation des coupes du crâne via un logiciel de traitement données d'imagerie 2D et 3D (Avizo 6.0.0), sur lesquelles chaque pixel de l'image est attribué à un matériel ("label", par exemple "os frontal" ou "cire"), défini en fonction de son niveau de gris. Une fois le processus de segmentation terminé, chaque zone ayant été numériquement attribuée à un matériau, il est possible de générer en 3 dimensions les surfaces segmentées, et les éditer. Les matériaux indésirables comme la cire peuvent ainsi être éliminés, ce qui permet de ne garder que les

images 3D des os, que l'on peut alors manipuler et étudier. La qualité du travail de segmentation dépend de plusieurs éléments, dont certains peuvent être limitants pour cette méthode, comme la qualité des données scanner. En effet, une mauvaise résolution du scanner peut rendre certaines zones difficiles à segmenter lorsque la différence de contraste entre les limites des différents matériaux est peu perceptible.

La segmentation de la cire et des os de La Quina 18 a permis de produire un modèle virtuel, composé des surfaces en 3 dimensions de chaque matériau (Figure 8). La cire a alors pu être éliminée virtuellement du modèle, afin de ne conserver que les surfaces osseuses, qui ont été enregistrées séparément afin de pouvoir être manipulable indépendamment pour réaliser la nouvelle reconstitution (Figure 9). Une première segmentation a ainsi été effectuée dans le cadre de l'année de Master 1 en 2020 (Figure 10).

**Cependant, cette première version ne permettait pas encore d'entreprendre le travail de reconstitution du bloc crânio-facial. En effet, certaines zones demandaient à être affinées avant de pouvoir entamer la reconstruction virtuelle. Le rendu 3D de plusieurs os présentant des fractures comme l'os sphénoïde, les os nasaux et les maxillaires a donc été amélioré, ce qui a permis de réaliser l'inventaire des zones à reconstruire et des os à repositionner.**



**Figure 8 - Vues antérieures et postérieures des surfaces générées à partir des matériaux segmentés. Chaque matériau s'est vu attribué une couleur distincte. On observe la cire en jaune présente à l'intérieur des cavités et entre les différents os.**

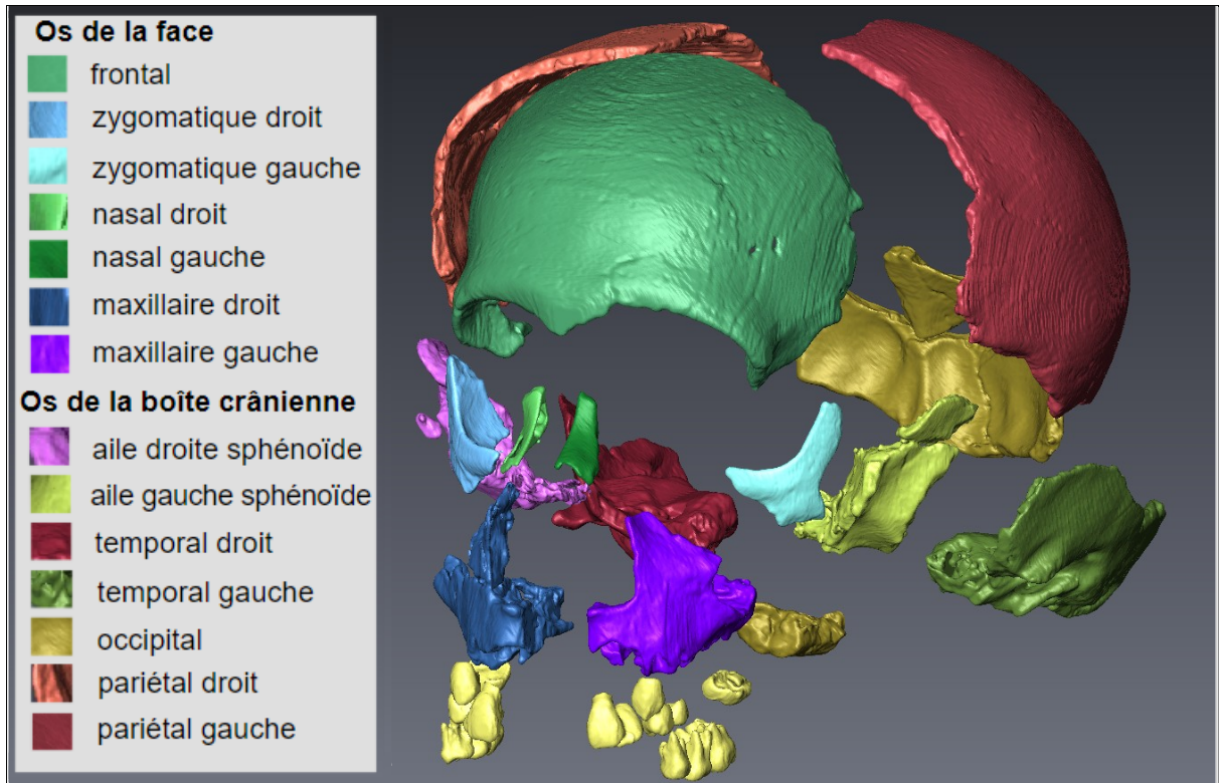


Figure 9 - Vue “éclatée” du bloc crânio-facial, permettant d’observer l’état de conservation de chaque os segmenté, une fois la cire éliminée.

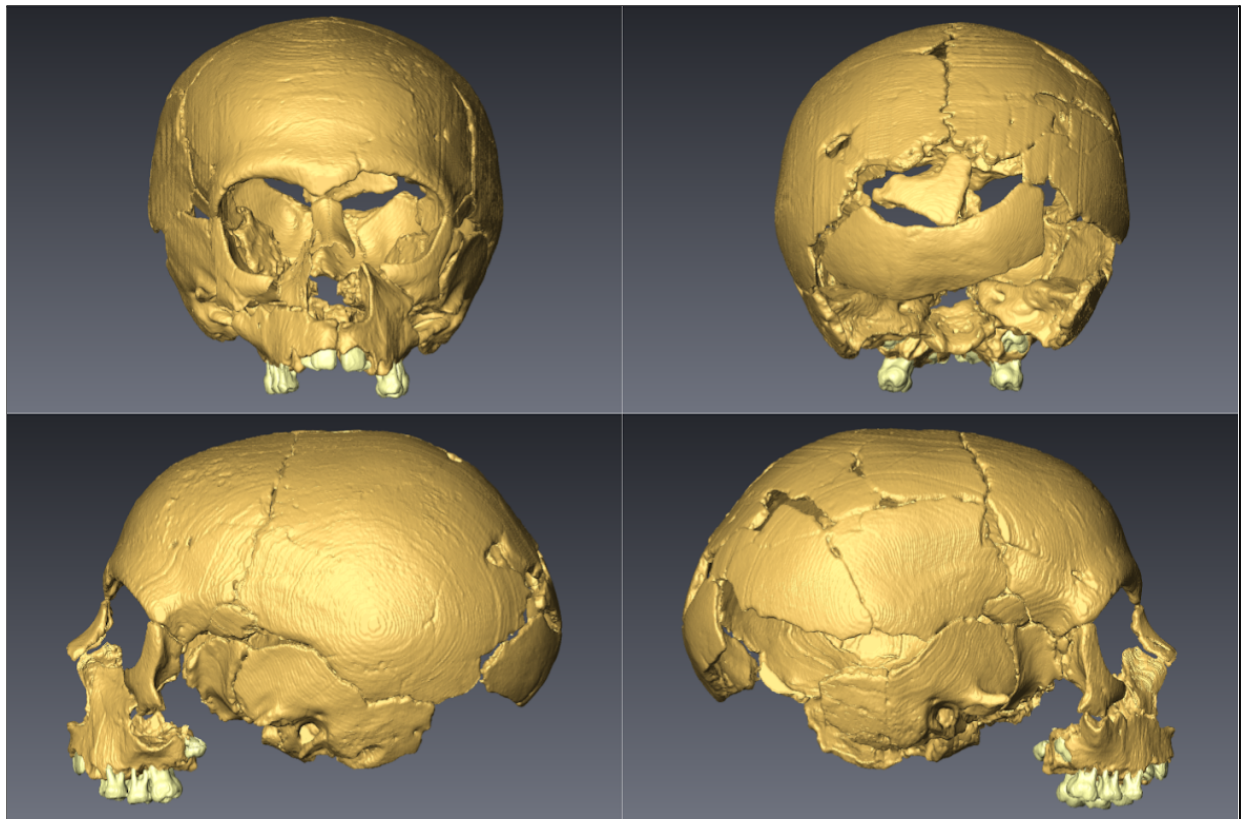


Figure 10 - Modèle 3D de La Quina 18 segmenté utilisé pour la reconstruction virtuelle

## ***La reconstruction de la face de La Quina 18***

L'intérêt de réaliser une reconstruction est de récupérer de l'information manquante sur des fossiles cassés ou déformés, étape préliminaire à la réalisation d'étude comparative (Zollikofer *et al.*, 1998 ; Gunz *et al.* 2009). Dans le cas de La Quina 18, une fois la segmentation terminée, la reconstruction avait deux objectifs :

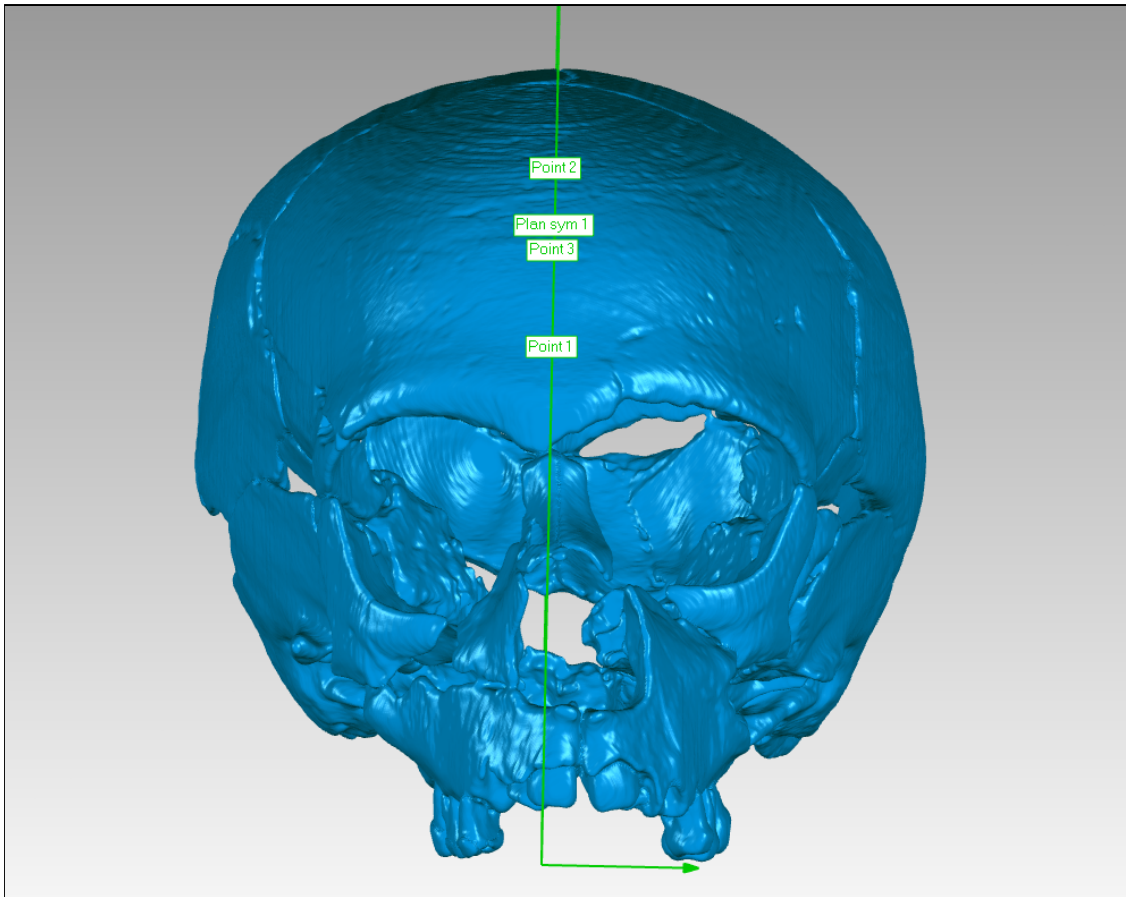
- Repositionner les os dont le placement est incorrect :

Cette étape a été réalisée grâce à la manipulation manuelle des images 3D sur le logiciel Geomagic, en ajustant leur position initiale à partir des connaissances morphologiques et anatomiques, afin de corriger les contacts incorrects et les décalages.

- Reconstituer des parties manquantes de la tête osseuse :

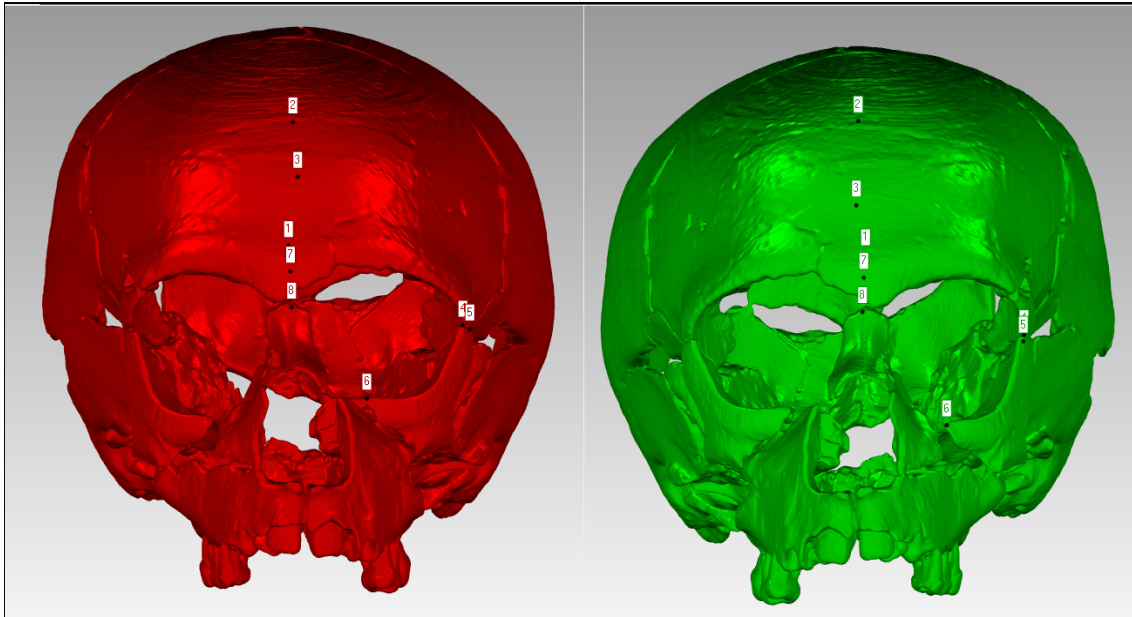
Pour reconstituer les parties manquantes, le principe de reconstruction virtuelle qui a été utilisé est celui d'exploiter et de reconstituer la symétrie bilatérale du crâne. Le principe est de restaurer une partie manquante en utilisant une image miroir de la partie la mieux préservée. On restaure alors l'information manquante en s'approchant de la symétrie naturelle d'origine du spécimen, également à l'aide du logiciel Geomagic.

Deux méthodes ont été utilisées pour reconstituer la symétrie bilatérale du crâne (*cf.* Gunz, 2009). La première a consisté à projeter l'image miroir de la partie en meilleur état à travers un plan médian-sagittal ("*midsaggital*"), défini à partir de landmarks placés sur les os afin de créer le plan de symétrie. Cette méthode de reconstruction, dite par "*mirroring*", a été utilisée en créant un plan de symétrie défini à partir de 3 points de repère sur La Quina 18 : un sur la crête frontale, un au Lambda (Martin, 1914) et un sur le sillon sagittal (Figure 11).

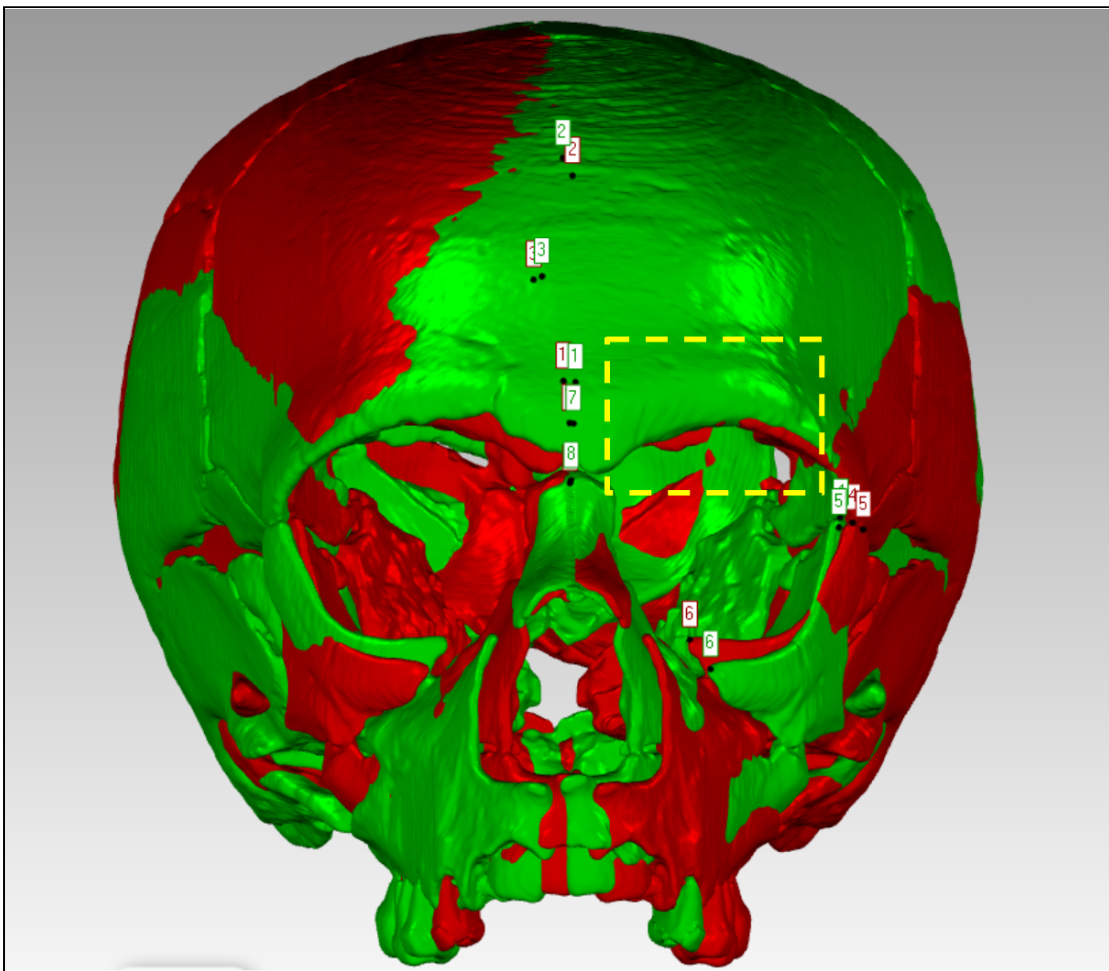


**Figure 11 - Définition du plan de symétrie du bloc crânio-facial à partir des points de repères anatomiques.** Localisation des points : Point 1. crête frontale, Point 2. sillon sagittal, Point 3. Lambda. Ce plan de symétrie, défini à partir de repère anatomique, permet de constater le décalage vers la gauche des maxillaires par rapport au reste du crâne. Ces opérations de reconstitution ont été réalisées sur le logiciel Geomagic.

À partir de ce plan, une image miroir du crâne a alors pu être générée, superposée puis alignée sur l'original afin de recalibrer le miroir sur la zone à combler. Le recalage entre l'image miroir et l'original s'est fait de manière manuelle et semi-automatique : des points de repères anatomiques ont été placés sur les deux modèles 3D afin de guider la superposition des deux surfaces (exemple pour le bord orbitaire droit : Figure 12 et 13). Le recalage a ensuite été ajusté manuellement, afin de faire correspondre au mieux les zones d'intérêts. Une fois que l'alignement était satisfaisant, le reste du miroir a ensuite été éliminé afin de ne garder que la surface d'intérêt. Cette méthode a été utilisée pour reconstruire le bord orbitaire gauche, l'os nasal droit ainsi que la face temporale et le processus zygomatique droit de l'os frontal.

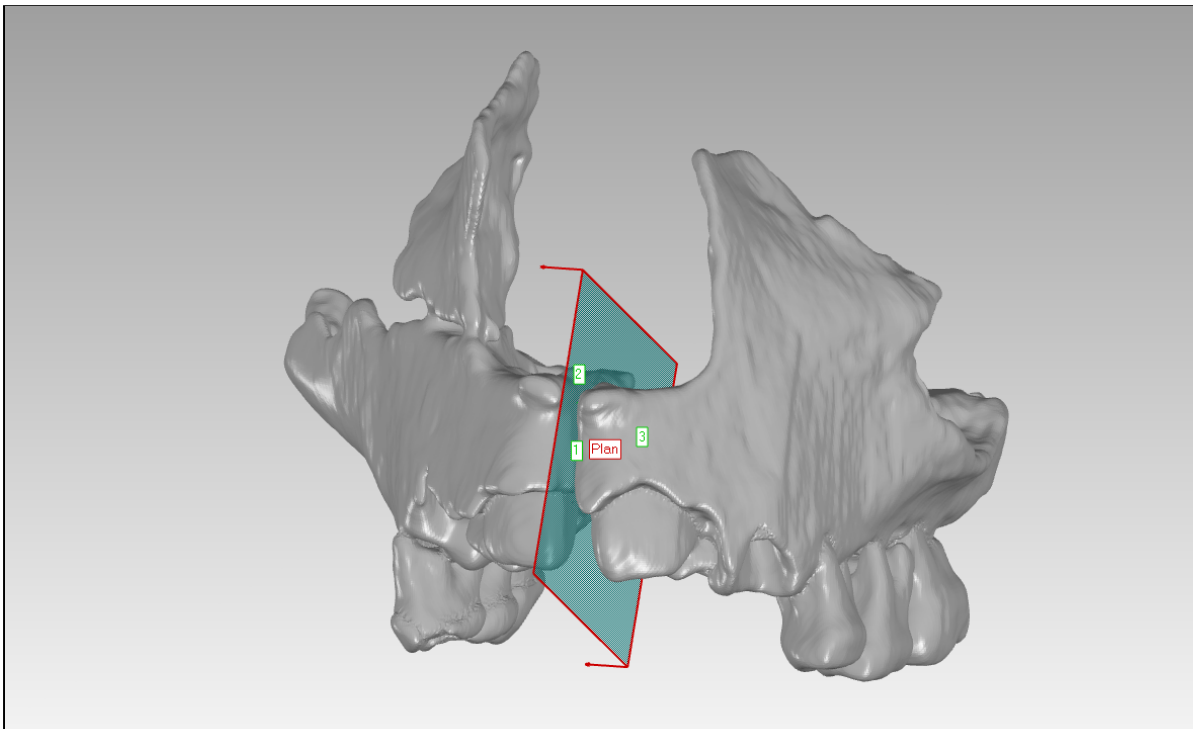


**Figure 12 - Modèle 3D original et image miroir de La Quina 18** - En rouge : original. En vert : miroir.  
Les landmarks placés ont été utilisés pour reconstruire le bord orbitaire gauche.

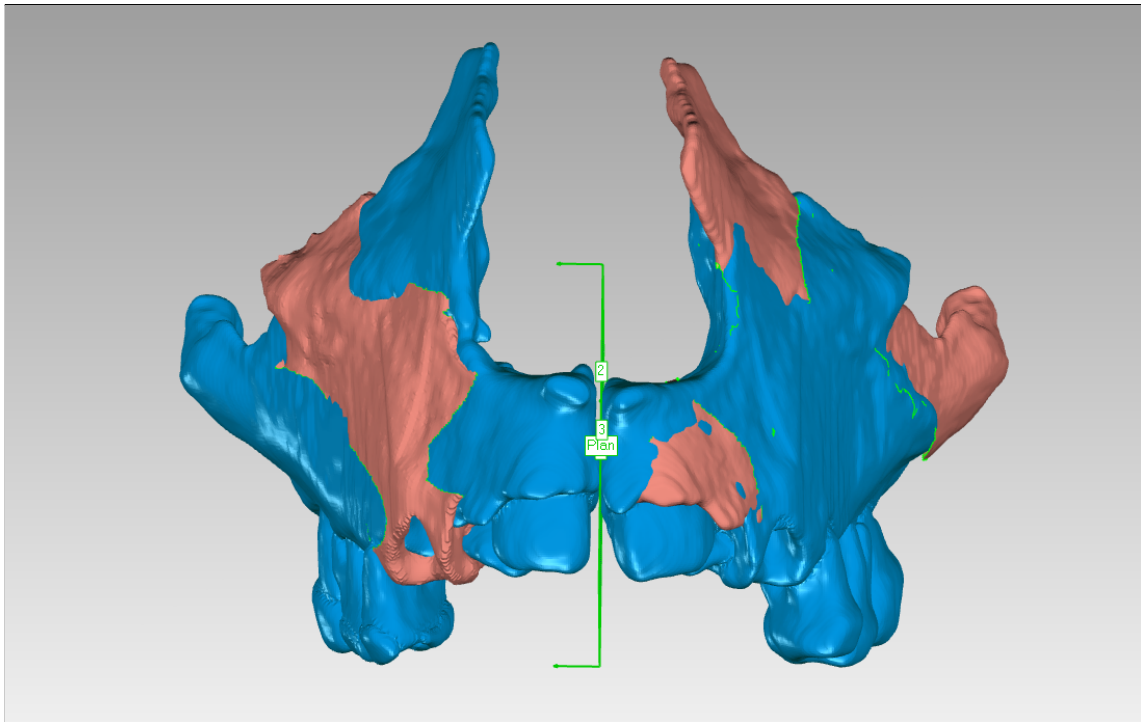


**Figure 13 - Image miroir et crâne original superposé pour reconstruction du bord orbitaire** - Repères anatomiques utilisés : 1. Crête frontale 2. Sillon sagittal 3. Lambda 4. Fronto-zygomatique orbitaire 5. Fronto-zygomatique temporal 6. Bord médian du processus maxillaire du zygomatic 7. Glabellle 8. (Nasion)

La reconstruction des maxillaires s'est faite selon la même méthode de "mirroring", mais avec un procédé différent. En effet, les deux maxillaires présentaient des lacunes osseuses de chaque côté et à des endroits différents, si bien qu'il était nécessaire d'utiliser l'image miroir de chaque maxillaire afin de reconstruire les parties manquantes de chaque côté. De plus, les maxillaires n'étant pas alignés sur le plan de symétrie du crâne, il était nécessaire d'en redéfinir un afin de pouvoir créer les images miroirs. Un nouveau plan de symétrie pour les maxillaires a donc été défini, à partir de points de repère situés sur l'épine nasale antérieure, le long de la suture incisive et sur le processus palatin (Figure 14). Les miroirs gauche et droit ont ensuite été projetés de part et d'autre du plan puis superposés et recalés selon le même procédé que pour les autres os (Figure 15).



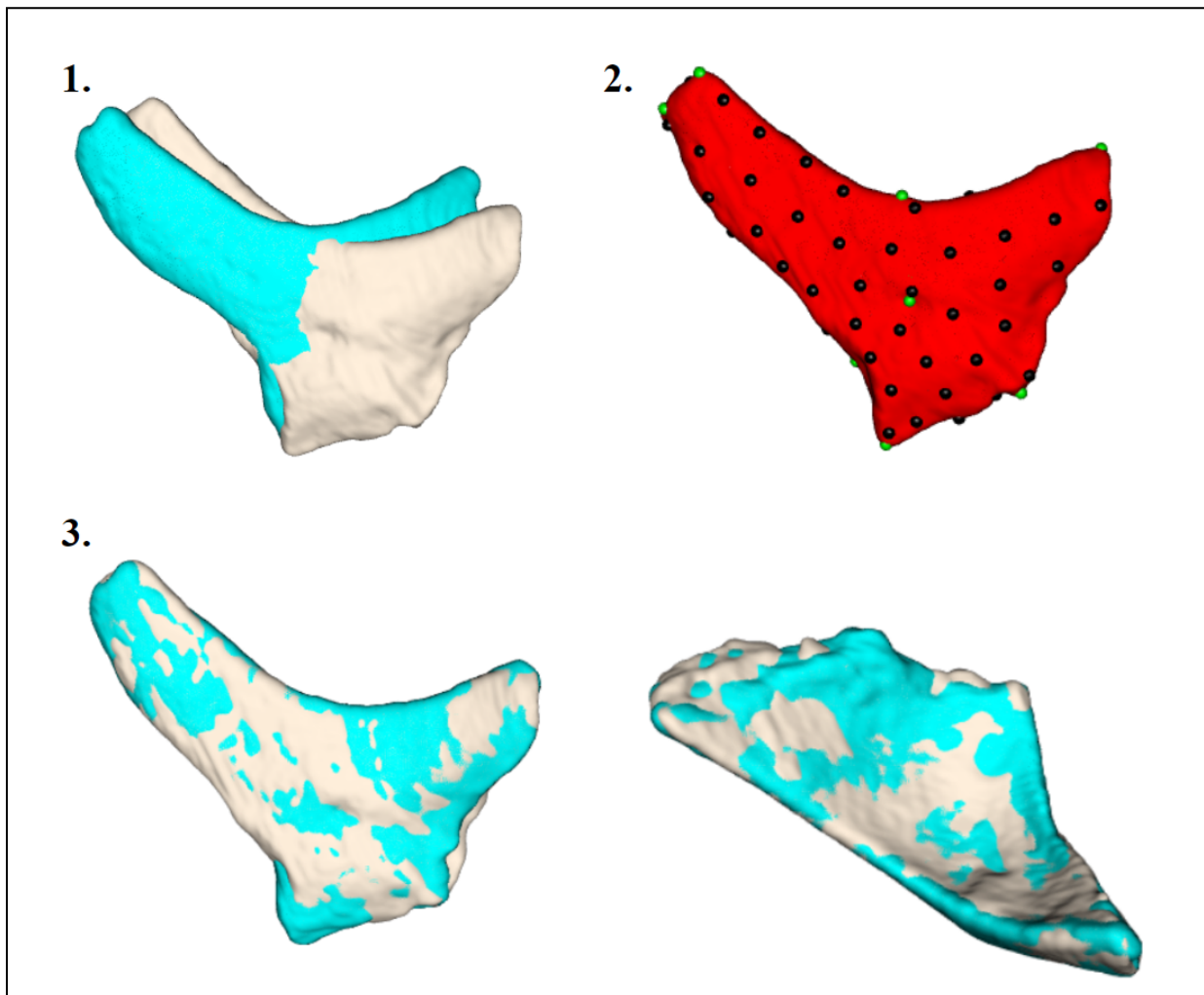
**Figure 14 - Plan de symétrie des maxillaires utilisé pour générer les images miroirs**



**Figure 15 - Maxillaires reconstruits par symétrie.** Les maxillaires d'origine sont en bleu, sur lesquels les surfaces miroirs en rouge ont été alignées.

La deuxième méthode utilisée pour la reconstitution de la face de La Quina 18 a été employée pour reconstruire l'os zygomatique droit. Cette méthode fonctionne également sur le principe de projection d'une image miroir, mais en y ajoutant de la déformation. En effet, cette méthode, nommée "*Thin-plate spline*" ou "TPS", a pour principe de déformer l'image miroir projetée sur la zone à reconstruire (Bookstein, 1989 ; Webster et Sheets, 2010). La première étape a été de créer un atlas de semi-landmarks, à partir des landmarks posés sur la surface osseuse que l'on souhaitait reconstruire. Le motif formé par l'atlas de semi-landmark a ensuite été projeté sur la surface à déformer, c'est-à-dire l'image miroir. Un alignement procruste (Webster et Sheets, 2010) des deux surfaces osseuses a ensuite été réalisé afin de minimiser les écarts entre les semi-landmarks homologues des deux surfaces, avant de procéder à la déformation de l'image miroir sur la surface à reconstruire (Albessard, 2018).

Ici, le but était de projeter une image miroir du zygomatique gauche sur le zygomatique droit, puis de la déformer afin que le miroir complète les zones du zygomatique droit où la matière est manquante, tout en modifiant le moins possible la surface d'origine de l'os que l'on souhaitait reconstruire (Figure 16). Ce processus de déformation de l'image miroir a été guidé via un script R.

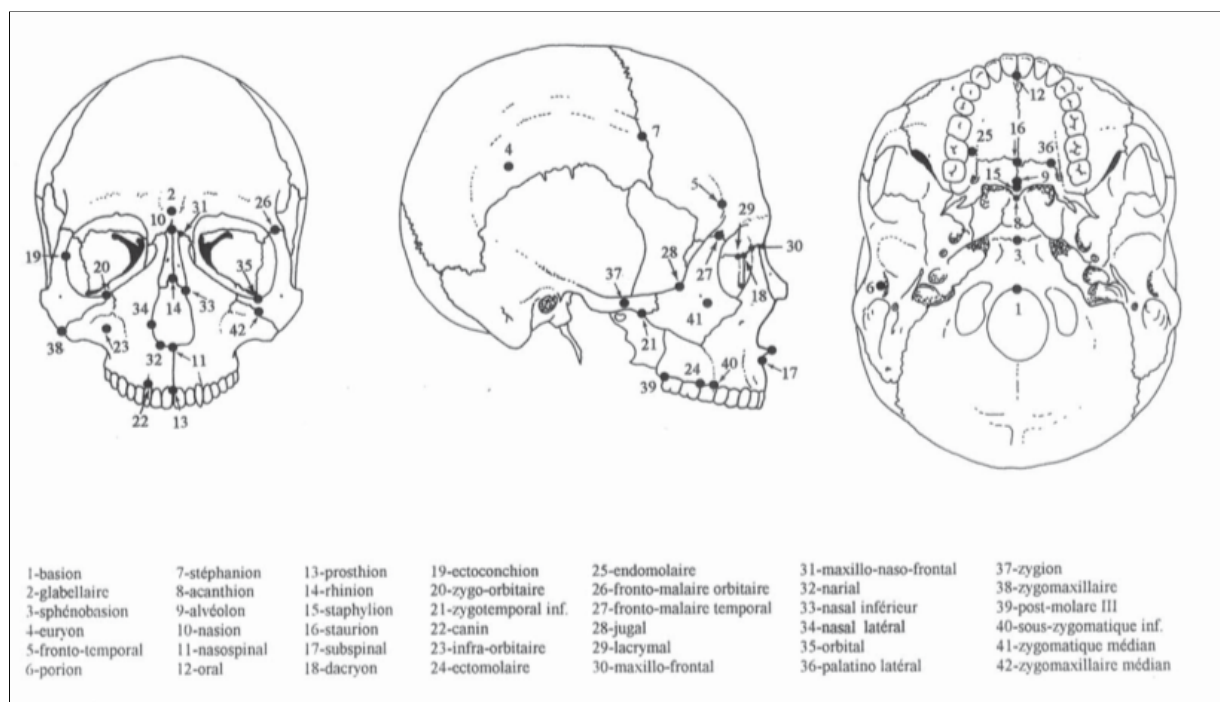


**Figure 16 - Reconstruction du zygomatique droit.** 1. L'image miroir du zygomatique gauche (en bleu), qui est en meilleur état, a ainsi projetée sur le zygomatique droit (en blanc). 2. Après avoir posé des landmarks (points verts) sur les deux surfaces osseuses, le même nombre et dans le même ordre, un atlas de semi-landmarks (points noirs) a été généré sur le zygomatique sur lequel on souhaitait projeter le miroir pour le déformer. 3. Ce réseau de points est ensuite transposé sur le miroir pour guider la déformation et obtenir l'os reconstruit, visible en vue antérieure et verticale du miroir déformer sur le zygomatique droit.

**Une fois les surfaces osseuses reconstruites et le positionnement des os ajustés, il a alors été possible d'effectuer une nouvelle étude morphométrique de La Quina 18, à partir du nouveau modèle virtuel.**

## ***Définition des points de repère crânio-métriques et des mesures à prendre***

La première étape préalable à la réalisation de l'étude morphométrique a été de réaliser l'inventaire des points de mesures à placer sur le crâne. Pour cela, il était nécessaire de d'évaluer chaque landmark afin de déterminer : s'il était possible de le placer sur le modèle segmenté ; si la zone où le landmark devait se placer était préservée, mais sa position devait être ajustée ; si la zone était fracturée et devait être reconstruite par symétrie ou bien si il n'était pas possible de la reconstruire (Tableau 2). Le résultat de cet inventaire a permis de lister les mesures pouvant être prises, dans le cas où il était possible de placer les points de repères avant ou après reconstruction et de déterminer les mesures qui ne pourraient pas être relevées, les zones contenant leurs landmarks ne pouvant pas être reconstruites avec les méthodes utilisées. Ces points de repères et ces mesures sont définis à partir de Martin, 1914 et Maureille, 1994 (Figure 17).



**Figure 17 - Localisation des points de repères crânio-métriques cités dans Maureille, 1994.**

Landmark	Évaluation
Acanthion	Zone impossible à reconstruire
Alvéolon	Zone impossible à reconstruire
Astérion	Reconstruction par symétrie nécessaire
Basion	Point positionnable
Bregma	Point positionnable
Canin	Reconstruction par symétrie nécessaire
Dacryon	Zone impossible à reconstruire
Ectoconchion	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Euryons	Point positionnable
Fronto-malaire orbitaire	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Fronto-malaire temporal	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Fronto-temporal	Point positionnable
Glabellaire	Point positionnable
Infra-orbitaire	Reconstruction par symétrie nécessaire
Inion	Zone impossible à reconstruire
Jugal	Point positionnable
Lacrymal	Zone impossible à reconstruire
Lambda	Point positionnable
Maxillo-frontal	Reconstruction par symétrie nécessaire
Maxillo-naso-frontal	Reconstruction par symétrie nécessaire
Narial	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Nasal inférieur	Reconstruction par symétrie nécessaire
Nasal latéral	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Nasion	Reconstruction par symétrie nécessaire
Nasospinal	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Opisthocranion	Point positionnable
Oral	Zone impossible à reconstruire
Orbital	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Palatino latéral	Zone impossible à reconstruire
Porion	Point positionnable
Postmolare III	Zone impossible à reconstruire
Prosthion	Zone impossible à reconstruire
Ptérion	Point positionnable
Rhinion	Reconstruction par symétrie nécessaire

Sphénobasion	Point positionnable
Staphylion	Zone impossible à reconstruire
Staurion	Zone impossible à reconstruire
Stéphanion	Point positionnable
Subspinal	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Zygion	Zone impossible à reconstruire
Zygo-orbitaire	Reconstruction par symétrie nécessaire
Zygomatique médian	Point positionnable
Zygomaxillaire	Ajustement de la position de l'os nécessaire
Zygomaxillaire médian	Reconstruction par symétrie nécessaire
Zygotemporal inférieur	Zone impossible à reconstruire

**Tableau 2 - Inventaire des points de repères crânio-métriques à placer en vue de l'étude morphométrique.**  
Le détail de l'évaluation des points de repère et des parties du bloc crânio-facial à reconstruire sont disponibles en annexe.

L'évaluation des points de repère à placer s'est faite sur le modèle segmenté sur Avizo et a permis de constater que plusieurs landmarks n'étaient pas positionnables en raison des lacunes osseuses trop importantes. Cela est notamment le cas dans la région orbitaire où l'absence des deux os lacrymaux, de la quasi-totalité de la partie horizontale de l'os frontal, du plancher de l'orbite ainsi que de l'articulation du processus frontal du maxillaire avec le bord nasal de l'os frontal, rendent difficile, voire impossible, de placer les points de mesures dans ces zones.

Une grande partie des points de mesures a tout de même pu être placée et plusieurs mesures ont pu être ainsi prises sur le modèle reconstruit du bloc crânio-facial, via l'interface du logiciel Geomagic :

### **M1 - Longueur maximale**

Distance en ligne droite de la glabelle au point le plus éloigné de l'occipital dans un plan sagittal médian, c'est-à-dire à l'opisthocrânion.

### **M3 - Longueur glabelle-lambda**

Distance en ligne droite de la glabelle jusqu'au lambda

### **M5 - Longueur de base**

Distance en ligne droite du nasion au basion.

**M8 - Largeur transverse maximale**

Largeur maximale perpendiculairement au plan médian. Mesurée entre les deux euryons.

**M9 - Largeur frontale minimale**

Distance en ligne droite entre les fronto-temporaux.

**M10 - Largeur frontale maximale**

La plus grande largeur du front (largeur de la suture coronale) : distance en ligne droite entre les deux coronaux.

**M10b -Largeur bistéphanique**

Distance en ligne droite entre les stéphanions.

**M11 - Largeur bi-auriculaire**

Distance en ligne droite entre les deux auriculaires, largeur à mesurer au-dessus des canaux auditifs.

**M12 - Largeur bi-astérisque**

Plus grande largeur occipitale (largeur de la région occipitale) : Distance en ligne droite entre les deux astériens.

**M13 - Largeur bi-mastoïde**

Distance en ligne droite entre les deux mastoïdes.

**M14 - Largeur biptérierion**

Distance en ligne droite entre les deux ptériens.

**M17 - Hauteur basion-bregma**

Distance en ligne droite entre le basion et le bregma.

**M20 - Hauteur porion-bregma**

“Hauteur auriculo-bregmatique”, distance en ligne droite entre le porion et le bregma.

**M40(2) - Longueur de la moitié supérieure de la face**

Distance en ligne droite entre du nasion au sphénobasion.

**M41 - Longueur latérale de la face**

Distance en ligne droite de l'ectoconchion au porion.

**M41a - Longueur auriculo-latérale de la face**

Distance en ligne droite du bord antérieur du trou auditif externe au jugal.

**M42 - Longueur Nasion-Basion**

Distance en ligne droite du nasion au basion.

**M43 - Largeur faciale supérieure**

Distance en ligne droite entre les fronto-malaires temporaux.

**M43(1) - Largeur faciale orbitaire interne**

Distance en ligne droite entre les fronto-malaires orbitaires.

**M44 - Largeur biorbitaire**

Distance en ligne droite entre les ectoconchions.

**M45(1) - Largeur bizygomatique postérieure**

Distance en ligne droite entre les points jugaux.

**M45(2) - Largeur bizygomatique antérieure**

Distance en ligne droite entre les tubercules marginaux.

**M45(3) - Largeur bizygomatique minimale**

Distance en ligne droite entre les zygo-orbitaires.

**M46 - Largeur faciale moyenne**

Distance en ligne droite entre les zygo-maxillaires.

**M50 - Largeur interorbitaire antérieure**

Distance en ligne droite entre les maxillo-frontaux.

**M51 - Largeur de l'orbite**

Distance en ligne droite du maxillo-frontal à l'ectoconchion.

### **M52 - Hauteur de l'orbite**

Distance en ligne droite du bord supérieur au bord inférieur de l'orbite perpendiculairement à M51.

### **M54 - Largeur du nez**

Distance en ligne droite entre les points les plus latéraux des bords latéraux de l'ouverture nasale. Largeur maximale de l'*apertura piriformis*.

### **M55 - Hauteur du nez**

Distance en ligne droite du nasion au nasospinal.

### **M55(1) - Hauteur de l'*apertura piriformis***

Distance en ligne droite du rhinion au nasospinal.

### **M56(2) - Longueur du bord latéral de l'os nasal**

Distance en ligne droite du maxillo-naso-frontal au nasal inférieur.

### **M57 - Largeur minimale des os nasaux**

Distance minimale en ligne droite entre les sutures nasomaxillaires.

### **M57(2) - Largeur supérieure des os nasaux**

Distance en ligne droite entre les maxillo-naso-frontaux.

## **Résultats**

### ***Reprise de la segmentation et analyse du modèle 3D***

La reprise de la segmentation a permis d'affiner le modèle virtuel à utiliser pour la reconstruction, de mieux connaître l'état de conversation réel du crâne et d'évaluer les points craniométriques à placer en vue de l'étude morphométrique. Le placement d'un point de mesure particulier, le ptériorion, a notamment été rendu incertain par la reprise de la segmentation. En effet, l'étude des données scanners utilisées pour réaliser la segmentation de La Quina 18 semble révéler la présence potentielle d'un os surnuméraire, ou wormien (Pages *et al.*, 2019) à gauche et à droite dans la région ptériaque. Ces deux os ont d'abord été interprétés à l'origine comme des fragments de l'os frontal (Martin, 1926), avant qu'il ne soit suggéré plus tard qu'il s'agisse plutôt de fragments du sphénoïde : la limite entre ces

fragments et l'os frontal ayant davantage l'air d'une suture que d'une cassure (Verna, 2006). L'hypothèse d'un éventuel os wormien ne fut cependant pas écartée dans cette dernière étude. L'examen des données scanners de La Quina 18 semble aller dans ce sens, puisque de l'os cortical apparaît clairement tout autour du fragment supposé, ce qui indique davantage une suture entre l'os sphénoïde et un os surnuméraire qu'une fracture (Figure 18).

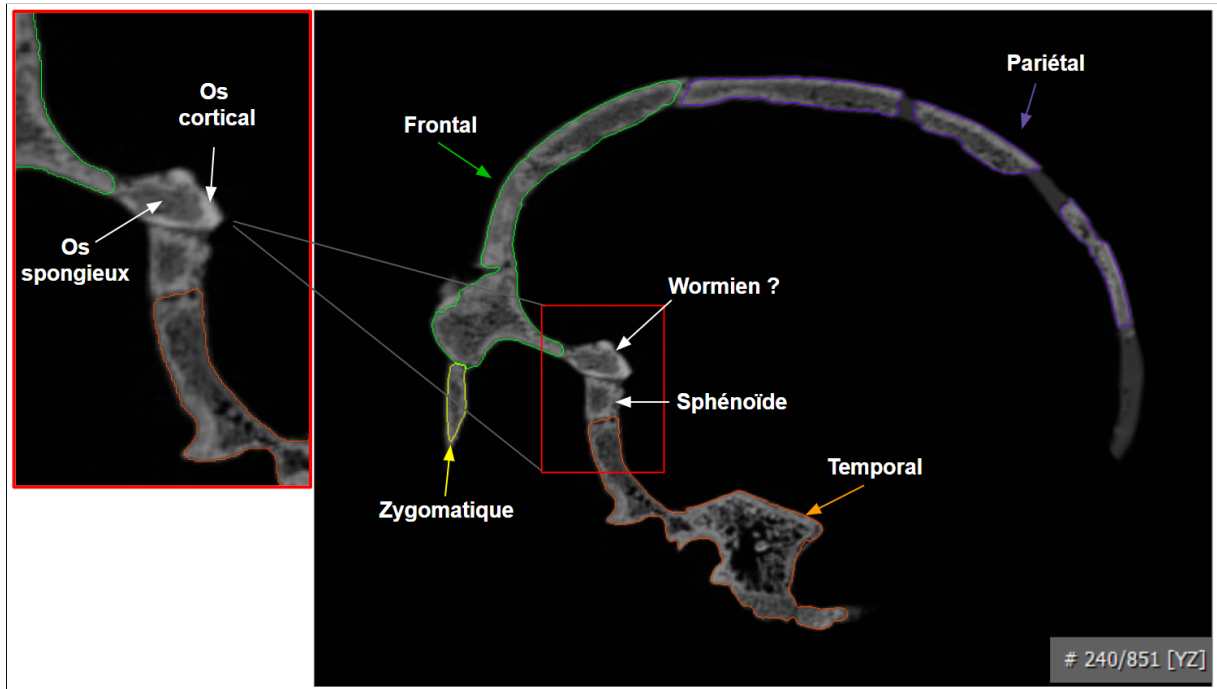
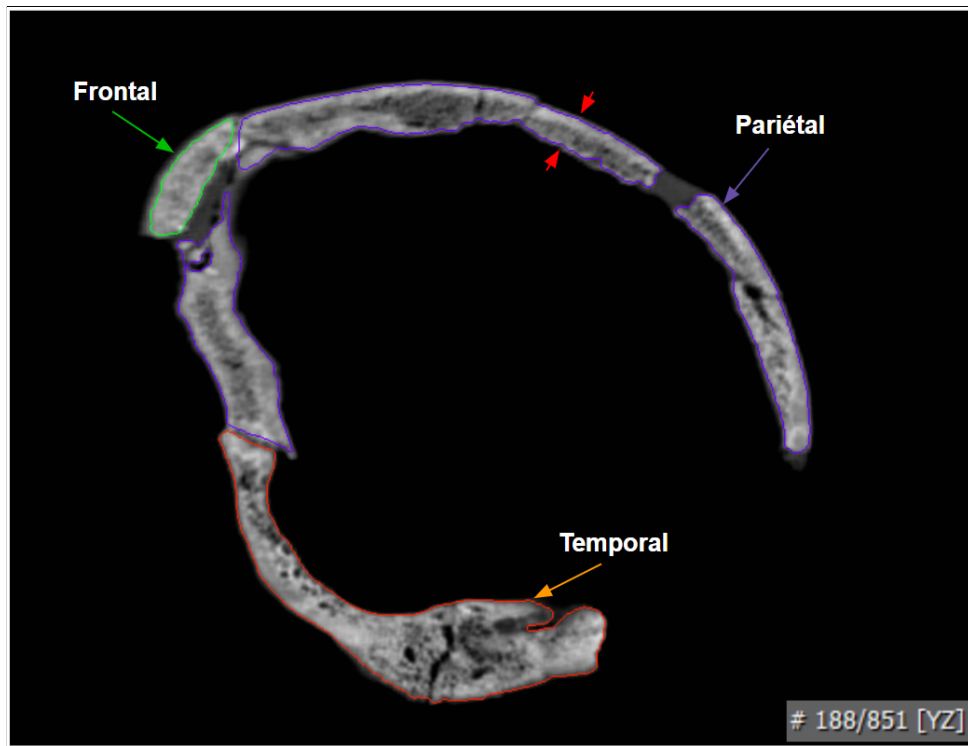


Figure 18 - Coupe sagittale 240/851 de l'axe YZ et zoom sur la région ptériaque.

En plus de l'examen des données scanners, le fait que cette configuration de la région ptériaque soit la même des deux côtés du crâne est un élément allant dans le sens de la présence d'os wormien plutôt que deux fractures identiques de chaque côté.

Des os wormiens ont déjà été observés chez les enfants néandertaliens, notamment chez La Ferrassie 8 (Gómez-Olivencia *et al.*, 2015). De plus, l'enfant de Roc-de-Marsal présente une lacune osseuse dans la région ptériaque à droite (*cf.* Madre-Dupouy, 1992), qui présente la même forme que l'os wormien supposé sur La Quina 18.

L'étude des données scanner du bloc crânio-facial a également permis d'observer certaines déformations, comme l'identification d'une possible torsion et d'un décalage sur le pariétal droit, qui affecte sa courbure globale (Figure 19).

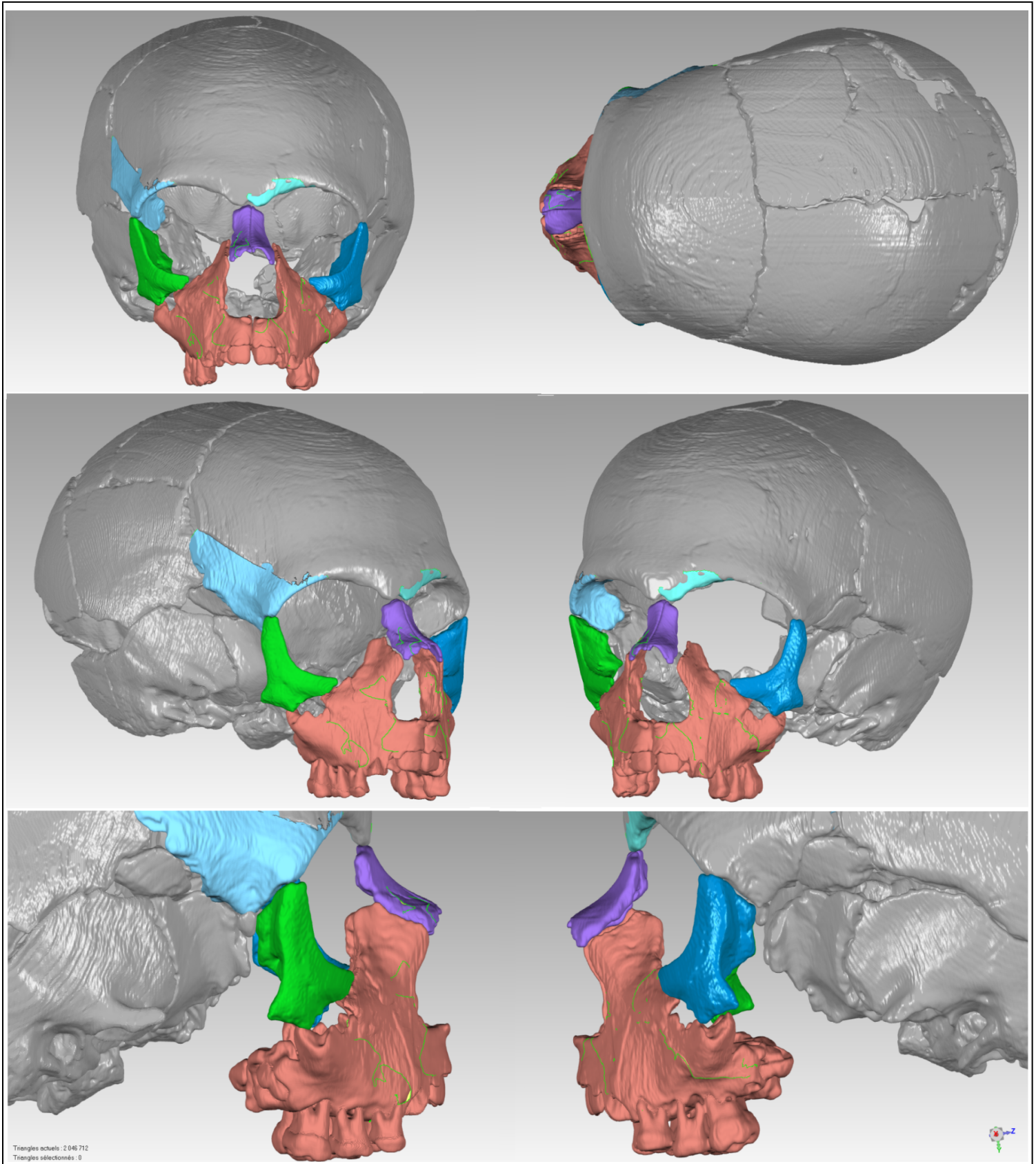


**Figure 19 - Coupe sagittale 188/851 de l'axe YZ montrant la déformation du pariétal droit.** Le décalage des fragments du pariétal modifiant la courbure du pariétal est indiquée par les deux flèches rouges.

### ***Reconstruction virtuelle de la face de La Quina 18***

La position des maxillaires a été réajustée afin de correspondre au contact avec le bord de l'os nasal à droite. Les images miroir ont permis de reconstruire une partie du processus frontal du maxillaire à gauche, et de récupérer de la matière sur les os nasaux, ce qui a guidé le repositionnement de chacun de ces os par rapport à la suture naso-maxillaire (Figure 20).

Une fois la position des maxillaires ajustée par rapport au bord des os nasaux, il a ensuite été possible de réajuster la position des zygomatics, en s'assurant que les contacts entre les os correspondent bien aux sutures zygomatiko-frontale et zygomatiko-maxillaire. La forme des orbites a ainsi pu être corrigée grâce au repositionnement de ces os d'une part, et d'autre part grâce à la reconstruction de l'os frontal. La partie médiale du bord orbitaire gauche qui été fracturée a ainsi été reconstituée par image miroir, de même que pour le bord latéral droit, qui été légèrement enfoncé à l'intérieur de la boîte crânienne. La forme de l'ouverture nasale a également été reconstituée, en ajustant la position des maxillaires et des os nasaux (Figure 20).



**Figure 20 - Planche présentant la reconstruction faciale de La Quina 18.** Les os dont la surface est colorée représentent les zones qui ont été reconstruite et dont la position a été ajustée.

## Étude morphométrique

Les mesures prises lors des études précédentes (Martin, 1926 et Verna 2006) ont été à nouveau relevées, avant et après reconstruction, et comparées avec un échantillon composé d'autres individus immatures *Homo neanderthalensis* et *Homo sapiens* (Tableau 4). Les mesures prises sur la face après reconstruction permettent de constater que le travail de reconstitution effectué a eu pour conséquence principale d'élargir la face de La Quina 18 (Tableau 3).

Mesures	Modèle segmenté	Modèle reconstruit
M43(1) - Largeur faciale orbitaire interne	84,57	87,66
M44 - Largeur biorbitaire	80,09	86,09
M45(1) - Largeur bizygomatique postérieure	81,9	86
M45(2) - Largeur bizygomatique antérieure	69,27	78,01
M45(3) - Largeur bizygomatique minimale	40,25	47,04
M46 - Largeur faciale moyenne	63,91	71,28

**Tableau 3 - Liste des mesures de la face prises avant et après la reconstruction du bloc crânio-facial.** La largeur bizygomatique "classique" M45 n'a pas pu être prise, car elle se mesure entre les zygyons, qui sont impossibles à placer en raison de la non-conservation des arcades zygomatiques.

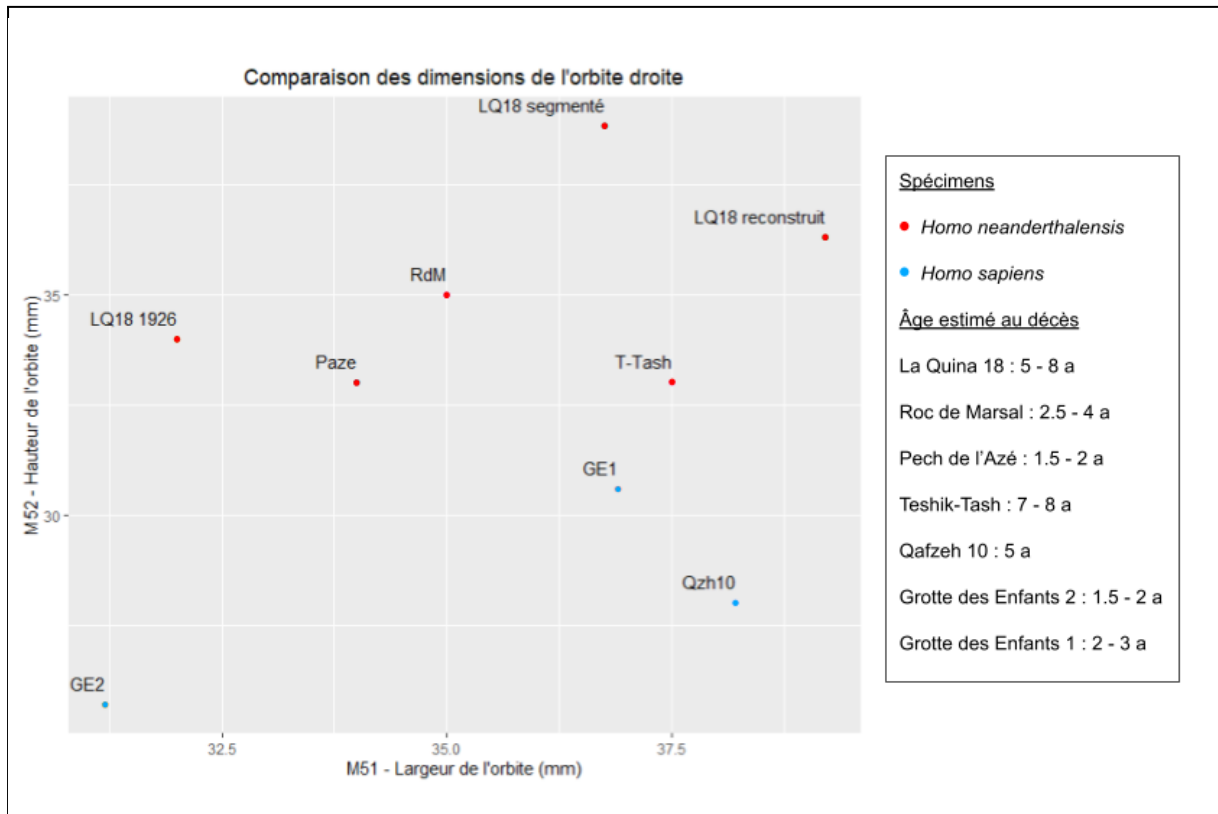
La reconstruction et le repositionnement des os de la face de La Quina 18 a également modifié les dimensions de ses orbites, mais différemment à gauche et à droite (Tableau 4).

À droite, on observe que l'orbite s'est étirée, avec une augmentation de 2,45 mm en largeur et une réduction de 2,52 mm en hauteur, tandis qu'à gauche la largeur est restée la même pour une augmentation de 2,35 mm de la hauteur. Ce changement de dimension est associé à une diminution de l'asymétrie entre les deux orbites, avec la réduction de l'écart entre les valeurs de largeurs et hauteurs à gauche et à droite (4,46 mm d'écart de largeur entre la gauche et la droite avant reconstruction contre 1,7 après, et 5,07 mm d'écart de hauteur contre 0,2 mm après reconstruction). Les dimensions des orbites mesurées avant et après reconstruction sont supérieures d'au moins 4 mm à celles estimées dans les études précédentes (Madre Dupouy, 1992).

Mesures	La Quina 18 (5 - 7a)			Autres <i>Homo neanderthalensis</i> immatures						<i>Homo sapiens</i> immatures du Paléolithique moyen			<i>Homo sapiens</i> immatures du Paléolithique supérieur			
	Verna 2006	Modèle segmenté	Modèle reconstruit	PAzé (1,5 - 2a)	RdM (2,5 - 4a)	Eng2 (3a)	Sub2 (3a)	Gib2 (4,5 a)	T-Tash (8-10a)	Skh 1 (3a)	Qzh 10 (5a)	Qzh 11 (13a)	GE2 (1,5-2a)	GE1 (2-3a)	LeF 1 (3a)	Mg3 (7-8a)
M1 - Longueur maximale du crâne	171,8	170,05	170,3		174	176	164		185	167	175	165		172	174	177
M3 - Longueur glabellule-lambda		156	159,02													
M5 - Longueur de base		95,1	96,3													
M8 - Largeur transverse maximale	131,87	131,14	131,14	130	130	130	138	145	144	121	133	133			130	144
M9 - Largeur frontale minimale	89,34	89,67	90,01	86,5	96	86	88	103,5	100	84	96,8		84	85	84	92
M10 - Largeur frontale maximale	107,25	104,8	106,1	112	118	106	110	125	120	100	113	110	98,5	105	106	117
M10b - Largeur bistéphanique		102,2	105,8				111	125			111	108				
M11 - Largeur bi-auriculaire	98,99	95,74	97,28	97,5	104	104	101		120			115		90		104
M12 - Largeur bi-astérisque	102,8	101,7	101,9	101	109	105	112		117	106	112	107		104		114
M13 - Largeur bi-mastoïde	84,11	88,3	86,5	82		88,6	92		121	88		111		90		
M14 - Largeur biptériion		102,5	102,3		112											
M17 - Hauteur basion-bregma	121	120	121,65	113	118	115			132		115	124				
M20 - Hauteur porion-bregma	102	111,6	110,02	99,9		108			113			115,7		112		122
M40(2) - Longueur de la moitié supérieure de la face		77,25	79,99													
M41 - Longueur latérale de la face		63	65,1													
M41a - Longueur auriculo-latérale de la face		49,24	47,94													
M42 - Longueur Nasion-Basion		95,11	96,34		90				95		89					
M43 - Largeur faciale supérieure		84,88	84,24								101		82	85		
M43(1) - Largeur faciale orbitaire interne		84,57	87,66				81,4						78	80		90
M44 - Largeur biorbitaire	82 *	80,09	86,09	75	90				83		89		76	82		
M45(1) - Largeur bizygomatique postérieure		81,9	86										90	92		
M45(2) - Largeur bizygomatique antérieure		69,27	78,01													
M45(3) - Largeur bizygomatique minimale		40,25	47,04													
M46 - Largeur faciale moyenne		63,91	71,28								87,8		70	76,5		
M50 - Largeur interorbitaire antérieure	14	11,4	12	19	24,5				24,5		23,4	25	17,2			
M51 - Largeur de l'orbite	32	36,75	39,2	34	35				37,5		38,2		31,2	36,9	31,5	39
M52 - Hauteur de l'orbite	34	38,82	36,3	33	35				33		28		25,7	30,6	30,5	33
M54 - Largeur du nez	22,5	23,96	24,2	19,5	21,8	21,96			29		21,5	24,5	17,5	19,5	19	19
M55 - Hauteur du nez	45,4	49,22	47,99	36,5	42,6	16,5			46		41,3		30,3	36,9	32	45
M55(1) - Hauteur de l'apertura piriformis		29,49	27,78													
M56(2) - Longueur du bord latéral de l'os nasal		27,65	26,68													
M57 - Largeur minimale des os nasaux		20,6	18,67													
M57(2) - Largeur supérieure des os nasaux		11,17	11,8													

**Tableau 4 - Mesures relevées sur La Quina 18 et échantillon de comparaison du Paléolithique.** Références des mesures des spécimens en annexe. \* Madre-Dupouy, 1992.

Cet élargissement de la face et de l'orbite droite est visible lorsque l'on compare les valeurs de la hauteur de l'orbite en fonction de la largeur entre le modèle d'origine (Martin, 1926), le modèle segmenté et le modèle reconstruit (Figure 21).



**Figure 21 - Hauteur en fonction de la largeur de l'orbite droite de Néandertaliens et *Homo sapiens* immatures.** Le tableau des dimensions pour l'orbite de chaque spécimen est disponible en annexe.

On remarque cependant que la différence de largeur et de hauteur est déjà importante entre les mesures relevées dans la description d'Henri-Martin en 1926 et celles du modèle segmenté avant la reconstruction virtuelle.

Cet écart peut s'expliquer par le fait que depuis les années 1920 pendant lesquelles les premières mesures ont été prises, la cire qui maintenait les os en place a pu connaître de légers changements de consistance dus aux variations de températures, ce qui aurait pu entraîner des mouvements sur certains os. Une autre explication à cet écart peut s'expliquer par des définitions de mesures des orbites différentes utilisées par Henri-Martin en 1926,

La comparaison des dimensions de l'orbite de La Quina 18 avec les autres néandertaliens de l'échantillon permet de constater que cet individu présente des orbites plus larges et plus hautes que les autres spécimens.

On observe également que les néandertaliens immatures ont des orbites plus hautes que les enfants *Homo sapiens*, indépendamment de leur âge.

Concernant les dimensions de l'ouverture nasale, les mesures obtenues avant et après reconstruction placent La Quina 18 comme l'individu ayant la plus grande ouverture nasale de notre échantillon, à l'exception de l'enfant de Teshik-Tash, qui est plus âgé (Figure 22). Les mesures relevées sur le modèle segmenté étaient plus élevées que celles de la dernière étude du fossile (Verna, 2006) et la reconstruction semble avoir réduit la hauteur de l'ouverture nasale (Figure 22).

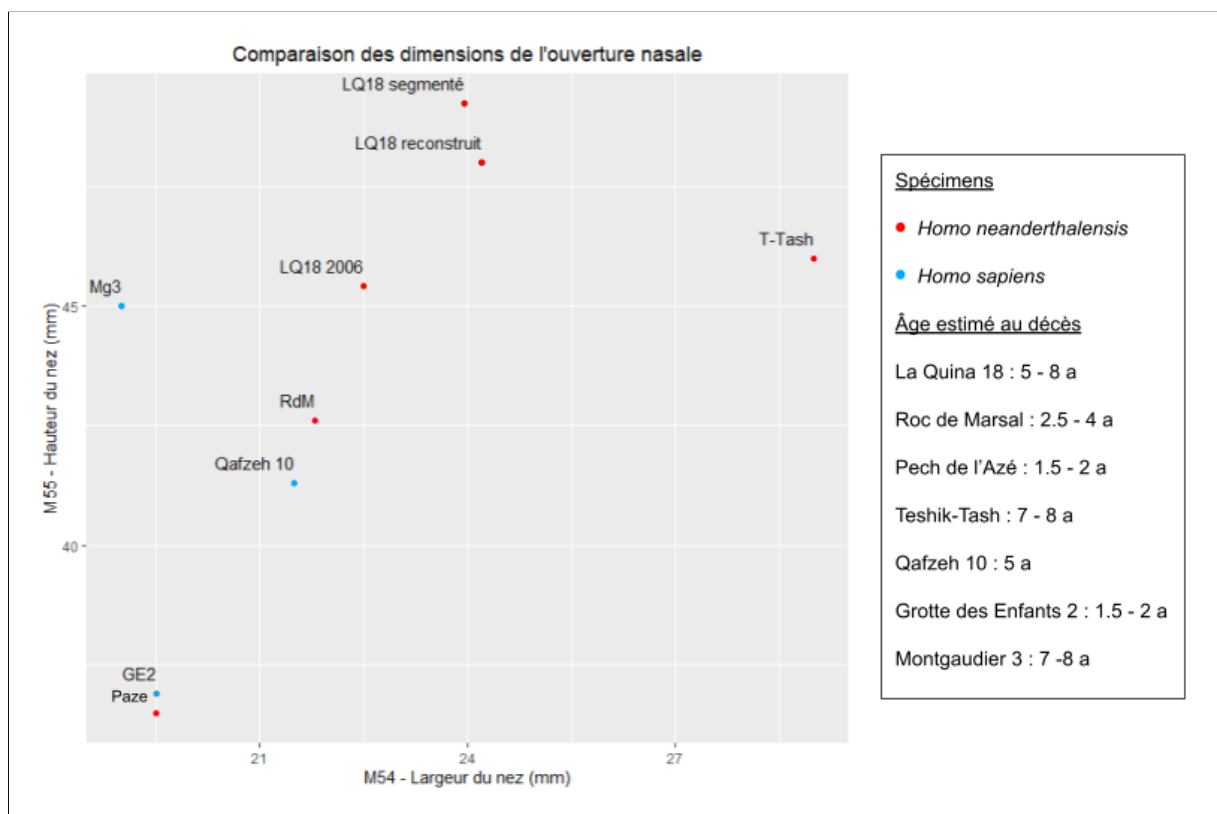


Figure 22 - Hauteur en fonction de la largeur du nez des individus immatures de l'échantillon. Le tableau des dimensions de l'ouverture nasale de chaque spécimen est disponible en annexe.

L'examen de la longueur du crâne par rapport à la largeur du frontal permet d'observer que La Quina 18 est un spécimen de dimensions plutôt modestes. En effet, il est plus proche d'enfants néandertaliens et *Homo sapiens* plus jeunes que lui, bien que la reconstitution ait eu pour effet d'augmenter légèrement ces dimensions (Figure 23).

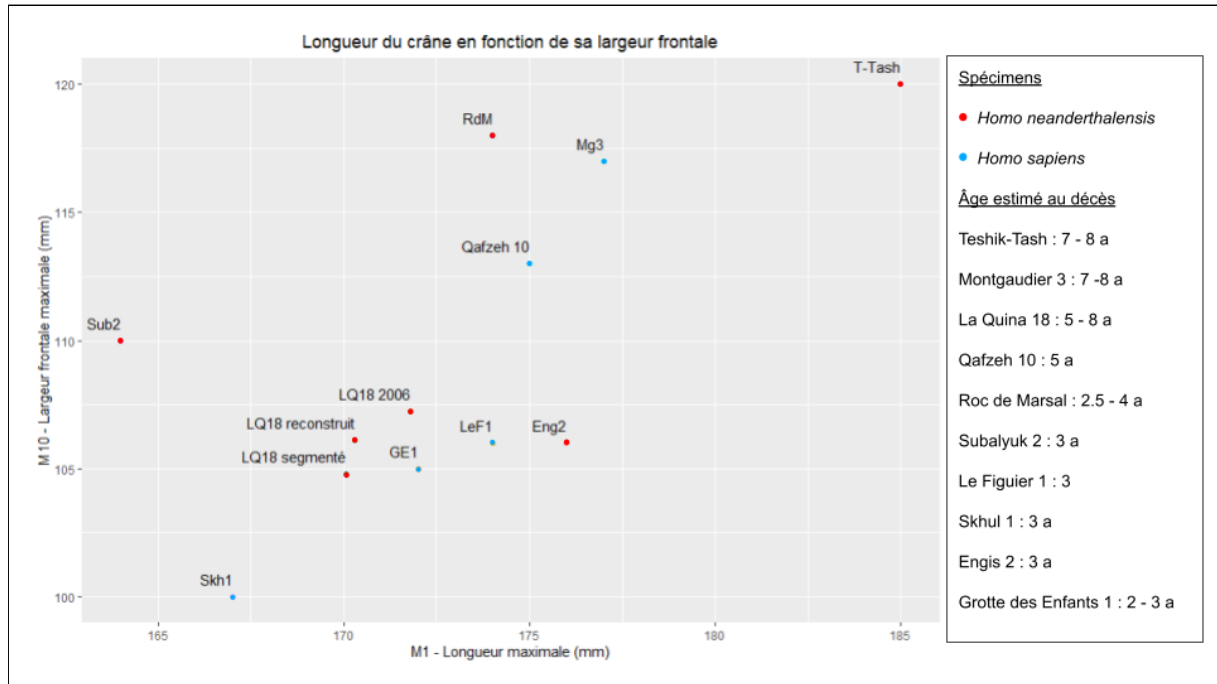


Figure 23 - Comparaison des dimensions du crâne de La Quina 18 et d'enfants *Homo neanderthalensis* et *Homo sapiens*.

## Discussion

Plusieurs éléments ont été limitants dans le processus de reconstruction de La Quina 18. Le modèle obtenu a en effet permis de corriger certains défauts de la reconstitution d'origine, mais plusieurs zones n'ont pas pu être reconstruites comme espéré initialement. C'est le cas notamment des pariétaux dont la courbure n'a pas été corrigée, car le travail de reconstitution et l'étude morphométrique ont été prioritairement axés sur la face plutôt que sur le neurocrâne.

Sur la face, l'état de conservation réel s'est révélé moins bon qu'espéré initialement, de nombreuses lacunes osseuses n'ont pas pu être comblées, ne permettant pas de lever toutes les incertitudes sur les précédentes mesures.

Le retrait de la cire a en effet révélé l'absence de plusieurs parties du crâne, comme le plancher orbitaire et la partie horizontale du frontal ainsi qu'une importante lacune osseuse sur

les sutures naso-frontale et maxillo-frontale. Ces parties manquantes, associées à une fracture du bord orbitaire sur le côté droit, ont limité la pose de landmarks et la prise de mesures. Par ailleurs, la fracture du bord orbitaire droit a été constatée seulement à la fin du stage, lors du seul moment où il a été possible d'observer le spécimen original. Cette fracture, située sur la partie médiale était légère et n'était donc pas visible sur les données scanners dont nous disposions pour cette étude. L'image miroir utilisée pour reconstruire le bord orbitaire gauche contient donc, elle aussi, une zone fragmentée. Il a tout de même été possible de récupérer de la matière, mais il est important de souligner que la partie frontale du bord orbitaire n'a donc pas pu être entièrement reconstruite. Il s'agit d'un élément supplémentaire de discussions sur les dimensions des orbites mesurées sur le modèle.

Ces lacunes osseuses ont rendu incertain le placement des points maxillo-frontal et maxillo-naso-frontal. Il y a donc une incertitude qui demeure sur les mesures prises à partir de ces points. En particulier sur la largeur interorbitaire (M50), qui est prise entre les deux maxillo-frontal et dont Martin (1914) indiquait que cette mesure étant généralement très faible, il est important d'être très précis sur le placement de landmarks concernés.

De plus, la largeur de l'orbite M51 se mesure aussi à partir du maxillo-frontal et la mesure de "M52 - hauteur de l'orbite" en étant perpendiculaire à M51 donc il existe une incertitude sur ces mesures qui concernent les dimensions de l'orbite. Ces incertitudes sur les mesures des dimensions de l'orbite de La Quina 18 impliquent donc de relativiser nos résultats qui indiquent que ce spécimen présenterait des orbites plus grandes que tous les autres individus de l'échantillon, la possibilité que ces mesures aient été surestimées ne pouvant être écartée.

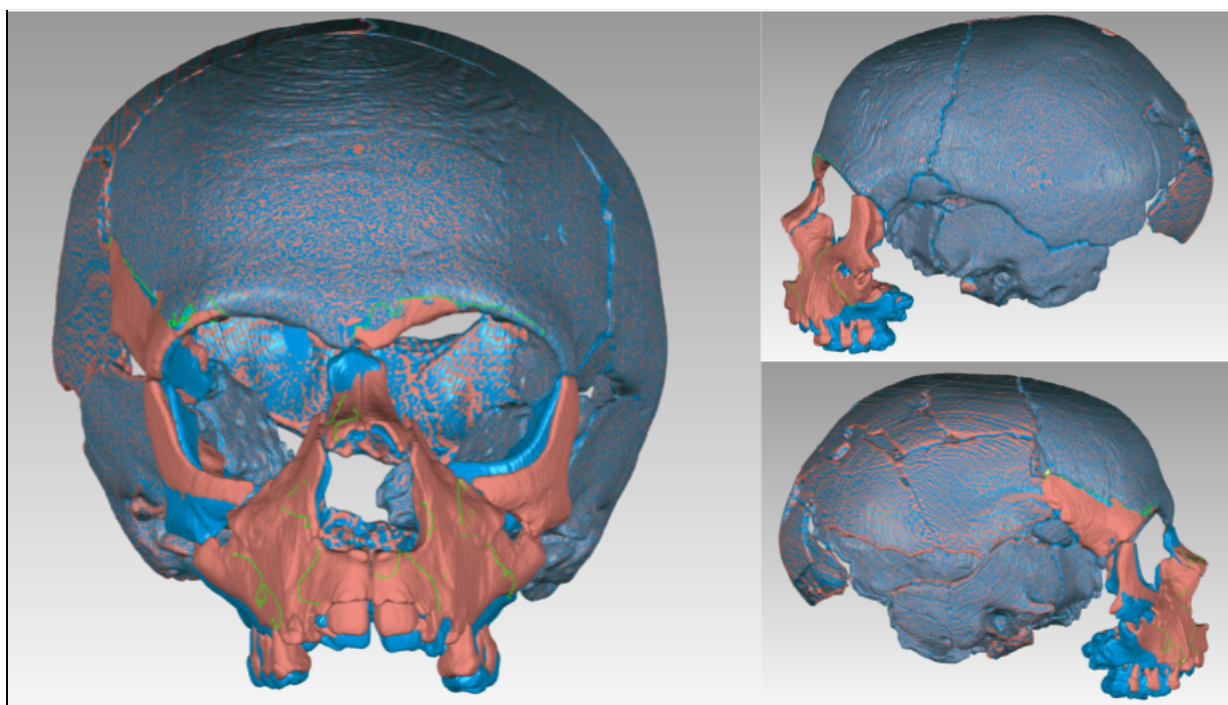
Par ailleurs, le principe d'utiliser la symétrie bilatérale et une image miroir pour reconstituer une partie anatomique peut également faire l'objet de discussion, puisqu'un individu n'est jamais parfaitement symétrique. Dès lors, utiliser l'image miroir d'une zone pour combler une lacune ne permet pas de reproduire à l'identique l'aspect du spécimen original, mais plutôt de proposer une hypothèse de reconstruction se rapprochant davantage de l'original qu'en laissant la zone vide (Gunz *et al.*, 2009 ; Godinho et O'Higgins, 2017). C'est pour minimiser cet aspect de miroir parfait qu'a été utilisée la méthode de déformation TPS sur les zygomatiques, puisqu'il subsistait assez de matière sur ces deux os pour pouvoir poser des landmarks homologues qui ont permis de guider la déformation de l'image miroir, afin de proposer une reconstitution de cette zone qui corresponde au mieux à la forme originale de l'os.

Enfin, il est important de souligner que les reconstructions virtuelles sont basées sur des estimations. Les hypothèses et algorithmes utilisés pour ces reconstructions varient selon les auteurs et influent ainsi sur les résultats de ces reconstructions. Une reconstruction virtuelle n'est donc jamais une réplique parfaite du spécimen original, mais un modèle qui tente de se rapprocher de l'origine en apportant de nouvelles informations. Une analyse réalisée à partir d'une reconstruction doit tenir compte des incertitudes que cette reconstruction implique, puisqu'elle est influencée par les choix de l'auteur de la reconstitution (Gunz *et al.*, 2009).

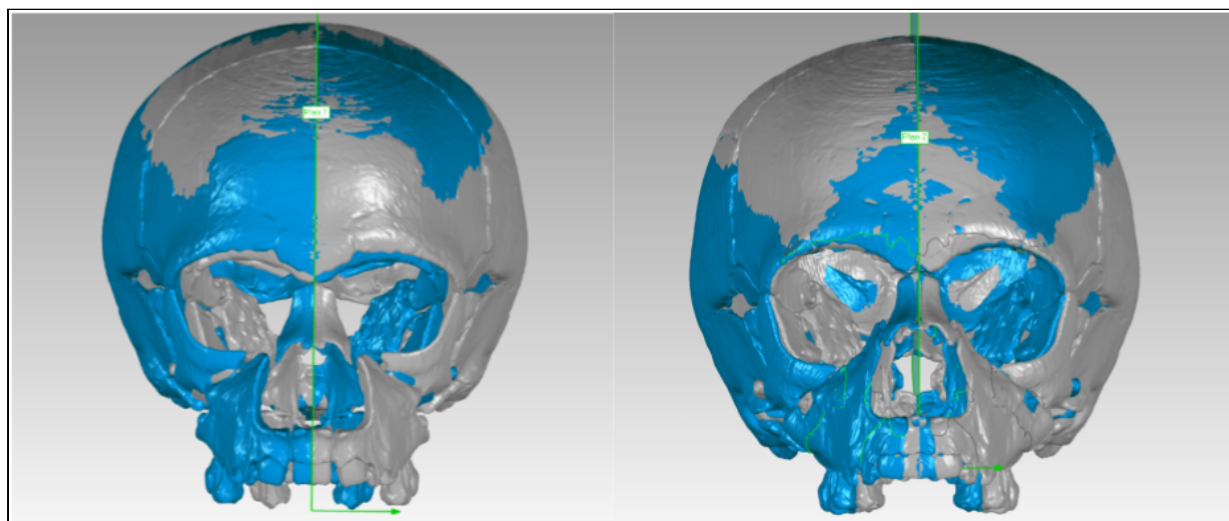
Cette reconstitution de La Quina 18 n'échappe pas à ce principe, puisque la plupart des éléments dont la position a été ajustée l'ont été manuellement, ce qui influence les résultats de l'étude morphométrique qui en découle. Cette dernière a également été limitée par un autre aspect, celui du manque de données comparatives à exploiter dans la littérature sur la face des néandertaliens immatures. La rareté de ces mesures a donc limité les possibilités d'analyses à réaliser lors de l'étude comparative.

En gardant à l'esprit ces éléments, cette nouvelle reconstitution de La Quina 18 présente tout de même plusieurs intérêts. La position des os de la face a été ajustée par rapport à la reconstitution d'origine et plusieurs os ont été virtuellement restaurés. Les maxillaires, les os nasaux, l'os zygomatique droit ainsi que les bords orbitaires et temporal droit de l'os frontal ont pu être reconstruits. Le contact naso-maxillaire et naso-frontal sont à présent plus corrects, d'un point de vue anatomique, qu'à l'origine. En plus d'avoir comblé ces lacunes osseuses, un élément visible de cette reconstitution est d'avoir élargi la face et légèrement avancé les maxillaires et les os nasaux par rapport à l'origine. Cet aspect est particulièrement visible en superposant le bloc crânio-facial avant et après reconstitution (Figure 24).

Enfin, le décalage global de la face a été en grande partie corrigé, ce qui est visible lorsque l'on compare la superposition de l'image miroir du bloc crânio-facial avant et après reconstitution (Figure 25).



**Figure 24 - Superposition du modèle reconstitué et du modèle d'origine.** La reconstitution (en rouge) est visible sur la face et permet de voir la projection des maxillaires et l'élargissement par rapport à l'original (en bleu), notamment au niveau du bord temporal droit qui était enfoncé dans la cavité crânienne et qui a été "ressorti" grâce à l'image miroir du bord gauche.



**Figure 25 - Superposition du bloc crânio-facial et de son image miroir avant et après reconstitution.** On observe que l'asymétrie est bien plus marquée sur le modèle d'origine (à gauche) que sur le modèle reconstruit (à droite), ce qui montre que les décalages ont été atténués. Un décalage au niveau des maxillaires subsiste cependant.

## Perspectives

Le travail de reconstitution a permis de prendre de nouvelles mesures et d'améliorer l'aspect du fossile de La Quina 18. Cependant, plusieurs éléments peuvent encore être développés à l'avenir afin de compléter le travail de reconstitution et approfondir l'étude morphométrique de ce néandertalien immature.

Tout d'abord, La Quina 18 pourra faire l'objet d'une nouvelle reconstruction virtuelle réalisée à partir de nouvelles données scanner de meilleure qualité. En effet, le bloc cranio-facial de cet enfant néandertalien a été scanné lors de cette année 2021 au sein de la "Plateforme d'Accès Scientifique à la Tomographie à Rayons X" (AST-RX) de l'UMS 2700 - 2AD du Muséum (Figure 26). Ce nouveau scanner a produit des images en coupes de la tête osseuse de meilleure résolution, qui pourront être utilisées afin de réaliser un modèle segmenté plus précis que celui utilisé pour cette reconstitution.



Figure 26 - Scan de La Quina 18 à la plateforme d'imagerie scientifique du Muséum.

Réaliser une nouvelle reconstitution pourra permettre de travailler sur l'ensemble du crâne et non plus seulement la face, en corrigeant la courbure des pariétaux et en reconstruisant par symétrie les os du neurocrâne qui peuvent l'être, comme les pariétaux et une partie de l'occipital. Il sera alors possible de prendre davantage de mesures sur l'ensemble du bloc crânio-facial de La Quina 18.

Le travail de reconstruction pourra également être enrichi d'autres méthodes de reconstitution virtuelle que celles utilisées dans le cadre de ce travail de Master. Ces méthodes pourraient permettre de combler davantage de lacunes osseuses, par exemple en utilisant des modèles statistiques pour reconstruire des zones manquantes (Gunz *et al.*, 2009) ou bien en modélisant les parties manquantes à partir de celles d'autres crânes de néandertaliens immatures (Amano *et al.*, 2015). Reconstruire de nouvelles zones du crâne permettra ainsi de prendre de nouvelles mesures et de continuer l'analyse anthropométrique de ce fossile.

Compléter l'étude morphométrique de La Quina 18 nécessitera également la création d'une base de données comparative contenant davantage de mesures des néandertaliens immatures. En effet, l'élément qui a le plus limité le travail d'analyse avec les limites de la reconstruction virtuelle a été le manque de données de comparaison disponibles. Un travail de synthèse des caractéristiques métriques crânio-faciales des enfants néandertaliens permettrait de réaliser une analyse d'envergure de la variabilité et du développement des Néandertaliens, qui pourra également s'appuyer sur des études de morphométrie-géométrie 3D (Dumoncel, 2017).

## **Conclusion**

Le travail d'imagerie virtuelle réalisé sur ce bloc crânio-facial de La Quina 18 a permis d'obtenir, pour la première fois depuis la reconstitution originale du fossile, un inventaire détaillé de l'état de conservation réel des os. De plus, la reconstruction 3D réalisée a permis de proposer une reconstitution de la morphologie faciale de cet enfant néandertalien, en ajustant la position des os après les avoir reconstruit par image miroir lorsqu'il était possible de le faire. Grâce à cette nouvelle reconstitution, il a été possible de reprendre l'étude morphométrique de ce fossile et de produire de nouvelles données sur ses dimensions faciales. Nos connaissances sur la croissance et le développement d'*Homo neanderthalensis* étant encore peu développées, obtenir le maximum d'informations des rares fossiles d'individus immatures découverts représente donc un intérêt scientifique important.

En produisant une nouvelle étude de ce spécimen clé dans l'étude cette problématique, ce travail va pouvoir servir de base pour une nouvelle étude approfondie des caractéristiques morphométriques des néandertaliens immatures, qui pourra ainsi permettre à terme de contribuer à la compréhension du développement de cette espèce.

## **Bibliographie**

- AKAZAWA T., MUHESEN S., ISHIDA H., KONDO O., GRIGGO C. 1999. New Discovery of a Neanderthal Child Burial from the Dederiyeh Cave in Syria. *Paléorient* 25, 129-142.
- ALBESSARD L. 2018. Co-variation morphologique du crâne et de l'endocrâne au cours de l'évolution du genre *Homo*. *Thèse de Doctorat en Anthropologie biologique*. Sous la direction de Dominique Grimaud-Hervé, Stanley Durrleman et Antoine Balzeau. Muséum National d'Histoire Naturelle.
- AMANO H., KIKUCHI T., MORITA Y., KONDO O., SUZUKI H., PONCE DE LEÓN M. S., OGIHARA N. 2015. Virtual reconstruction of the Neanderthal Amud 1 cranium. *American journal of physical anthropology*, 158(2), 185-197. doi:10.1002/ajpa.22777
- ARSUAGA, J. L., VILLAVERDE, V., QUAM, R., GRACIA, A., LORENZO, C., MARTÍNEZ, I., & CARRETERO, J.-M. 2002. The Gravettian occipital bone from the site of Malladetes (Barx, Valencia, Spain). *Journal of Human Evolution*, 43(3), 381–393. doi:10.1006/jhev.2002.0579
- BAILEY S. E. 2002. A closer look at Neanderthal postcanine dental morphology: The mandibular dentition. *The anatomical record*, 269 (3), s. 148–156. doi:10.1002/ar.10116
- BASTIR M., O'HIGGINS P., ROSAS A. 2007. Facial ontogeny in Neanderthals and modern humans. *Proceedings of the Royal Society B* n° 274, 1125–1132. doi:10.1098/rspb.2006.0448
- BECAM G. 2017. Variation exo- et endostructurale des dents permanentes humaines du maxillaire et de la mandibule. *Thèse de Paléoanthropologie, sous la direction de Sophie GRÉGOIRE*, Perpignan, Université de Perpignan Via Domitia.
- BILLY G. 1979. L'enfant magdalénien de la grotte du Figuier (Ardèche), *l'Anthropologie* 83, 223–252
- BOOKSTEIN F. L. 1989. Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(6), 567–585. doi:10.1109/34.24792
- CABANIS E. A., BADAWI-FAYAD J., IBA-ZIZEN M-T., ISTOC A., DE LUMLEY H., DE LUMLEY M-A., COPPENS Y. 2007. “Scanner à rayons X et paléoanthropologie crânienne”. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine* 191, 1069-1089.

CHASE P. G., ARMAND D., DEBÉNATH A., DIBBLE H., JELINEK A. J. 1994. Taphonomy and Zooarchaeology of a Mousterian Faunal Assemblage from La Quina, Charente, France, *Journal of Field Archaeology*, 21:3, 289-305. doi.org/10.1179/009346994791547571

CHAUVET G. 1897. Station Humaines Quaternaires de La Charente, *Extrait du Bulletin de la Société archéologique et historique de la Charente*, n°1 “Bibliographie et statistique, fouilles au Ménieux et à La Quina”, 172p.

CHURCHILL S. E. 2014. Chapitre 2 : The Neandertals in Time and Space. In : Churchill S. E. *Thin on the Ground: Neandertal Biology, Archeology, and Ecology*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, 9-40.

CREVECOEUR I., BAYLE P., ROUGIER H., MAUREILLE B., HIGHAM T., VAN DER PLICHT J., DE CLERCK N., SEMAL P. 2010. The Spy VI child: A newly discovered Neandertal infant. *Journal of Human Evolution*, 59(6), 641–656.

DEBÉNATH A., JELINEK A. J., ARMAND D., CHASE P. G., DIBBLE H. L., MERCIER N., RENAULT-MISKOVSKY J., TILLIER A-M., VALLADAS H., VANDERMEERSCH B. 1998. Nouvelles fouilles à La Quina (Charente) : résultats préliminaires. *Gallia Préhistoire – Archéologie de la France préhistorique* 40, CNRS Éditions, 29-74

DEGIOANNI A., FABRE V., CONDEMI S. 2011. Génétique et paléanthropologie : deux approches pour un dialogue autour des Néandertaliens. *Bulletins et mémoires de la société d'anthropologie de paris*, 23 (1-2), s. 1–18. doi:10.1007/s13219-010-0022-y

DUMONCEL J. 2017. Analyse morphométrique 3D de structures anatomiques pour la paléanthropologie. Modélisation et simulation. *Université Paul Sabatier - Toulouse III*,

FEREMBACH D., 1970. L'enfant du Pech de l'Azé, *Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine*, Mémoire 33: 1-51. Paris : Masson.

FROUIN M., LAHAYE C., VALLADAS H., HIGHAM T., DEBÉNATH A., DELAGNES A., MERCIER N. 2017. Dating the Middle Paleolithic deposits of La Quina Amont (Charente, France) using luminescence methods. *Journal of Human Evolution* 109, 30-45.

GAMBIER D. 1987. Les crânes magdaléniens de Montgaudier (Charente). *Préhistoire de Poitou-Charente, III Congrès National des Sociétés Savantes, Poitiers*. p 61–67.

- GARCÍA-MARTÍNEZ, D., BASTIR, M., GÓMEZ-OLIVENCIA, A., MAUREILLE, B., GOLOVANOVA, L., DORONICHEV, V., AKAZAWA, T., KONDO, O., ISHIDA, H., GASCHO, D., ZOLLIKOFER, C.P.E., DE LEÓN, M.P., HEUZÉ, Y. 2020. Early development of the Neanderthal ribcage reveals a different body shape at birth compared to modern humans. *Science Advances* 6, eabb4377.. doi:10.1126/sciadv.abb4377
- GODINHO R. M., O’HIGGINS P. 2017. Chapter 10 - Virtual Reconstruction of Cranial Remains: The H. Heidelbergensis, Kabwe 1 Fossil. Editor(s): David Erickson, Tim Thompson, *Human Remains: Another Dimension, Academic Press*, Pages 135-147,
- GOMEZ-OLIVENCIA A., CREVECOEUR I., BALZEAU A. 2015. La Ferrassie 8 Neandertal child reloaded: New remains and re-assessment of the original collection. *Journal of Human Evolution* 82, 107-126.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER K. 1902. Der paleolithische Mensch und seine Zeitgenossen aus dem Diluvium von Krapina in Kroatien. *Vienna: Alfred Heolder*.
- GREEN, R. E., J. KRAUSE, A. W. BRIGGS, T. MARICIC, U. STENZEL, M. KIRCHER, N. PATTERSON, *et al.*, 2010. A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science* 328, no. 5979
- GUNZ P., MITTEROECKER P., NEUBAUER S., WEBER G. W., BOOKSTEIN F. L. 2009. Principles for the virtual reconstruction of hominin crania. *Journal of Human Evolution*, 57(1), 48–62. doi:10.1016/j.jhevol.2009.04.004
- GUNZ P., NEUBAUER S., MAUREILLE B., HUBLIN J-J. 2010. Brain development after birth differs between Neanderthals and modern humans. *Current Biology*, Volume 20, Issue 21, Pages R921-R922.
- GUNZ P., BULYGINA E. 2012. The Mousterian child from Teshik-Tash is a Neanderthal: A geometric morphometric study of the frontal bone. *American Journal of Physical Anthropology* 149, 365-379.
- HEIM J.-L. 1982. Les enfants néandertaliens de La Ferrassie. *Etude anthropologique et analyse ontogénique des hommes de Néandertal*. Masson, Paris.
- HENRY-GAMBIER D. 2001. La Sépulture des Enfants de Grimaldi (Baoussé-Roussé, Italie). *Anthropologie et Palethnologie Funéraire des Populations de la fin du Paléolithique Supérieur* CTHS, Réunion des Musées Nationaux, Paris.

HENRI-MARTIN G. 1965. V. La Quina. In: Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, Volume. 2, n°3-4.

HOUNSFIELD G.N. 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. *British Journal of Radiology* 46, 1016-1022.

HUBLIN J.-J. 1998. Climatic Changes, Paleogeography, and the Evolution of the Neandertals. In : T. Akazawa, K. Aoki, O. Bar-Yosef, éd., *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*, New York, Plenum Press, p. 295-310.

HUBLIN J.-J. 2007 Origine et évolution des Néandertaliens, in: B. Vandermeersch, B. Maureille (Eds.), *Les Néandertaliens. Biologie et Cultures*, Éditions du CTHS, Paris, 2007, pp. 95–107.

HUBLIN J.-J. 2013. The Makers of the Early Upper Paleolithic in Western Eurasia. In *The Origins of Modern Humans*. Eds F.H. Smith and J.C.M. Ahern). <https://doi.org/10.1002/9781118659991.ch6>

HUBLIN J.-J., NEUBAUER S., GUNZ P. 2015. Brain ontogeny and life history in Pleistocene hominins. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 2014006

LALUEZA FOX C., FRAYER D. W. 1997. Non-dietary Marks in the Anterior Dentition of the Krapina Neanderthals. *International Journal of Osteoarcheology* 7, 133-149.

MADRE-DUPOUY M., 1992. L'Enfant du Roc de Marsal, étude analytique et comparative. *Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris.

MARTIN H. 1907-1910. Recherches sur l'Évolution du Moustérien dans le Gisement de LaQuina (Charente). Volume I. L'industrie osseuse. *S. frères*. Paris, 316 p.

MARTIN H. 1923. Recherches sur l'Évolution du Moustérien, dans le gisement de La Quina (Charente). Volume 3 : l'Homme fossile, *S. frères*. Paris.

MARTIN H. 1926. Recherches sur l'Évolution du Moustérien dans le gisement de La Quina (Charente). Volume 4. L'Enfant Fossile de La Quina.. *Imprimerie ouvrière*, Angoulême 158 p.

MARTIN R. 1914. Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung: mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden; für Studierende, *Ärzte und*

*Forschungsreisende*; mit 460 Abbildungen im Text, 3 Tafeln und 2 Beobachtungsblättern. p519-534. Jena: Fischer. <http://doi.org/10.11588/diglit.37612>

MAUREILLE B. 1995. Un aspect de l'ontogénèse de la face : la *sutura incisiva* des Néandertaliens. *Anthropologie et Préhistoire*, 106, 65-74.

MAUREILLE B. 2002. La redécouverte du nouveau-né néandertalien Le Moustier 2 , *PALEO* 1458, 221-238.

MINUGH-PURVIS N., RADOVCIC J., SMITH F. H. 2000. Krapina 1: A Juvenile Neandertal From the Early Late Pleistocene of Croatia. *American Journal of Physical Anthropology* 111, 393–424.

NAVA A., LUGLI F., ROMANDINI M., BADINO F., EVANS D., HELBLING A. H., OXILIA G., ARRIGHI S., BORTOLINI E., DELPIANO D., DUCHES R., FIGUS C., LIVRAGHI A., MARCIANI G., SILVESTRINI, S., CIPRIANI A., GIOVANARDI T., PINI R., TUNIZ C., BERNARDINI F., DORI, I., COPPA A., CRISTIANI E., DEAN C., BONDIOLI L., PERESANI M., MÜLLER W., BENAZZI S. 2020. Early life of Neanderthals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (46) 28719-28726.

PATTE E. 1933. Gustave Chauvet (1840-1933). In: *Bulletin de la Société préhistorique de France*, tome 30, n°7-8. pp. 401-416. DOI : <https://doi.org/10.3406/bspf.1933.12171>

PAGES E., MATHIEU P.-A., FREDON F. , MABIT C., DURAND-FONTANIER S., VALLEIX D. 2019. Les os wormiens. *Morphologie*, Volume 103, Issue 342,, Page 122, ISSN 1286-0115,

PICQ, P. 2014. *Homo* et la fin des certitudes. *Communications*, 95, 19-30.

PONCE DE LEÓN M. S., ZOLLIKOFER C. 2001. Neanderthal cranial ontogeny and its implications for late hominid diversity. *Nature* 412, 534–538.

PONCE DE LEÓN M. S., BIENVENU T., AKAZAWA T., ZOLLIKOFER C. P. 2016. Brain development is similar in Neanderthals and modern humans. *Current Biology* 26, R665–R666

PRÜFER K., RACIMO F., PATTERSON N., *et al.* 2014. The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature* 505, 43–49

RAK Y., KIMBEL W.H., HOVERS E. 1994. A Neandertal infant from Amud Cave, Israel. *Journal of Human Evolution* 26, 313-324.

RAMIREZ ROZZI F. V., BERMUDEZ DE CASTRO J. 2004. Surprisingly rapid growth in Neanderthals. *Nature* 428, 936–939.

ROSAS A., RÍOS L., ESTALRRICH A., LIVERSIDGE H, GARCÍA-TABERNERO A., HUGUET R., CARDOSO H., BASTIR M., LALUEZA-FOX C., DE LA RASILLA M., DEAN C. 2017. The growth pattern of Neandertals, reconstructed from a juvenile skeleton from El Sidrón (Spain). *Science* n°22. p. 1282-1287.

SAWADA J., KONDO O., NARA T., DODO Y., AKAZAWA T. 2004. Bone histomorphology of the Dederiyeh Neanderthal child. *Anthropological Science* 112, 247–256.

SMITH T. M., TAFFOREAU P., REID D. J., POUÉCH J., LAZZARI V., ZERMENO J. P., GUATELLI-STEINBERG D., OLEJNICZAK A. J., HOFFMAN A., RADOVČIĆ J. , MAKAREMI M., TOUSSAINT M., STRINGER C., HUBLIN J-J. 2010. Dental evidence for ontogenetic differences between modern humans and Neanderthals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* n° 107 (49) 20923-20928.

TILLIER A-M. 1982. Les enfants néandertaliens de Devil's Tower (Gibraltar). *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie Bd. 73, H. 2* , pp. 125-148

TILLIER A-M. 1983. Le crâne d'enfant d'Engis 2 : exemple de distribution des caractères juveniles primitifs et néandertaliens - *Bull. Soc. roy. belge Anthropol. Préhist.*,94 51-75.

TILLIER A-M. 1986. L'Enfant de La Quina H18 et L'Ontogénie des Néandertaliens. 111<sup>e</sup> Congrès national des Sociétés savantes, Poitiers, Pré-et Protohistoire, p. 201-206.

TILLIER A.M. 1996. The Pech de l'Azé and Roc de Marsal Children (Middle Paleolithic, France): Skeletal evidence for variation in Neanderthal ontogeny. *Human Evolution* Vol. 11 - N. 2 : 113-119.

TILLIER A. M., 2002. Les enfants moustériens de Qafzeh : interprétation phylogénétique et paléauxologique. *Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique*, Paris.

TOMPKINS R. L., TRINKAUS E. 1987. La Ferrassie 6 and the development of Neandertal pubic morphology. *American journal of physical anthropology* 73, 233-239.

TRINKAUS E. 1987. The Neandertal face: evolutionary and functional perspectives on a recent hominid face. *Journal of Human Evolution*, 16(5), 429–443.

VERNA C. 2006. Les restes humains moustériens de la Station Amont de la Quina - (Charente, France) : contexte archéologique et constitution de l'assemblage : étude morphologique et métrique des restes crânio-faciaux : apport à l'étude de la variation néandertalienne. *Thèse de doctorat Sciences du vivant, géosciences et sciences de l'environnement*. Anthropologie biologique Bordeaux 1.

VERNA C. 2010. Les restes humains de la Station Amont de La Quina (Charente). In : *Préhistoire entre Vienne et Charente, Hommes et sociétés du Paléolithique*. pp. 140-144.

VERNA C., DUJARDIN V., TRINKAUS E. 2012. The Early Aurignacian human remains from La Quina-Aval (France). *Journal of Human Evolution*, 62(5), 605–617.

WEBER G. W. 2015. Virtual Anthropology. *Yearbook Of Physical Anthropology* 156:22–42.

WEAVER T. 2009. The meaning of Neandertal skeletal morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 38 vol. 106 , p. 16028 –16033.

WEAVER T., COQUEUGNIOT H., GOLOVANOVAE L. V., DORONICHEVE V. B., MAUREILLE B. , HUBLIN J-J. 2016. Neonatal postcrania from Mezmaiskaya, Russia, and Le Moustier, France, and the development of Neandertal body form. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 23, 6472-6477.

WEBSTER M, SHEETS HD. 2010. A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. In: Alroy J, Hunt G (eds) *Quantitative methods in paleobiology. The Paleontological Society Papers*, Volume 16, pp 163–188

ZOLLIKOFER C. P. E., PONCE DE LEÓN M. S., MARTIN R. D. 1998. Computer-assisted paleoanthropology. *Evolutionary Anthropology* 6, 41-54.

ZOLLIKOFER C. P. E, PONCE DE LEÓN M. S. 2005. Virtual Reconstruction : a primer in computed-assisted paleontology and biomedicine. *Hoboken, N.J., Wiley-Interscience*.

# **Table des illustrations**

## ***Liste des tableaux***

Tableau 1. Liste (non exhaustive) de plusieurs restes notables d'individus juvéniles néandertaliens.....	p.6
Tableau 2 - Inventaire des points de repères crânio-métriques à placer en vue de l'étude morphométrique.....	p.31
Tableau 3 - Liste des mesures de la face prises avant et après la reconstruction du bloc crânio-facial.....	p.38
Tableau 4 - Mesures relevées sur La Quina 18 et échantillon de comparaison du Paléolithique.....	p.39

## ***Liste des figures***

Figure 1 - Crânes d' <i>Homo neanderthalensis</i> présentés du plus jeune au plus âgé. ....	p.7
Figure 2 - Localisation du site. Données cartographiques.....	p.9
Figure 3 - Coupe stratigraphique de la station Amont.....	p.10
Figure 4 - Relevé stratigraphique de la tranchée C.....	p.12
Figure 5 - Photos des vues antérieure et postérieure, latérale gauche et droite, inférieure et supérieure de la tête osseuse après reconstitution.....	p.15
Figure 6 - Principaux éléments limitants l'étude morphométrique de La Quina 18.....	p.17
Figure 7 - Coupe numéro 382 de l'axe [YZ] issue du scanner de La Quina 18.....	p.20
Figure 8 - Vues antérieures et postérieures des surfaces générées à partir des matériaux segmentés. ....	p.21
Figure 9 - Vue "éclatée" du bloc crânio-facial.....	p.22
Figure 10 - Modèle 3D de La Quina 18 segmenté utilisé pour la reconstruction virtuelle.....	p.22
Figure 11 - Définition du plan de symétrie du bloc crânio-facial à partir des points de repères anatomiques.....	p.24
Figure 12 - Modèle 3D original et image miroir de La Quina 18. ....	p.25
Figure 13 - Image miroir et crâne original superposé pour reconstruction du bord orbitaire.....	p.25

<b>Figure 14 - Plan de symétrie des maxillaires utilisé pour générer les images miroirs.....</b>	<b>p.26</b>
<b>Figure 15 - Maxillaires reconstruits par symétrie.....</b>	<b>p.27</b>
<b>Figure 16 - Reconstruction du zygomatique droit.....</b>	<b>p.28</b>
<b>Figure 17 - Localisation des points de repères crânio-métriques.....</b>	<b>p.29</b>
<b>Figure 18 - Coupe sagittale 240/851 de l'axe YZ et zoom sur la région ptériaque.....</b>	<b>p.35</b>
<b>Figure 19 - Coupe sagittale 188/851 de l'axe YZ montrant la déformation du pariétal droit.....</b>	<b>p.36</b>
<b>Figure 20 - Planche présentant la reconstruction faciale de La Quina 18.....</b>	<b>p.37</b>
<b>Figure 21 - Hauteur en fonction de la largeur de l'orbite droite de Néandertaliens et <i>Homo sapiens</i> immatures.....</b>	<b>p.40</b>
<b>Figure 22 - Hauteur en fonction de la largeur du nez des individus immatures de l'échantillon.....</b>	<b>p.41</b>
<b>Figure 23 - Comparaison des dimensions du crâne de La Quina 18 et d'enfants <i>Homo neanderthalensis</i> et <i>Homo sapiens</i>.....</b>	<b>p.42</b>
<b>Figure 24 - Superposition du modèle reconstitué et du modèle d'origine.....</b>	<b>p.45</b>
<b>Figure 25 - Superposition du bloc crânio-facial et de son image miroir avant et après reconstitution.....</b>	<b>p.45</b>
<b>Figure 26 - Scan de La Quina 18 à la plateforme d'imagerie scientifique du Muséum. ....</b>	<b>p.46</b>

## Annexes

### *Annexe 1 : Inventaire des points de mesures à placer en vue de l'étude morphométrique*

#### **Zones impossible à reconstruire car lacune osseuse trop importante :**

Plusieurs os du bloc crânio-facial sont manquants et n'ont pas pu être segmentés :

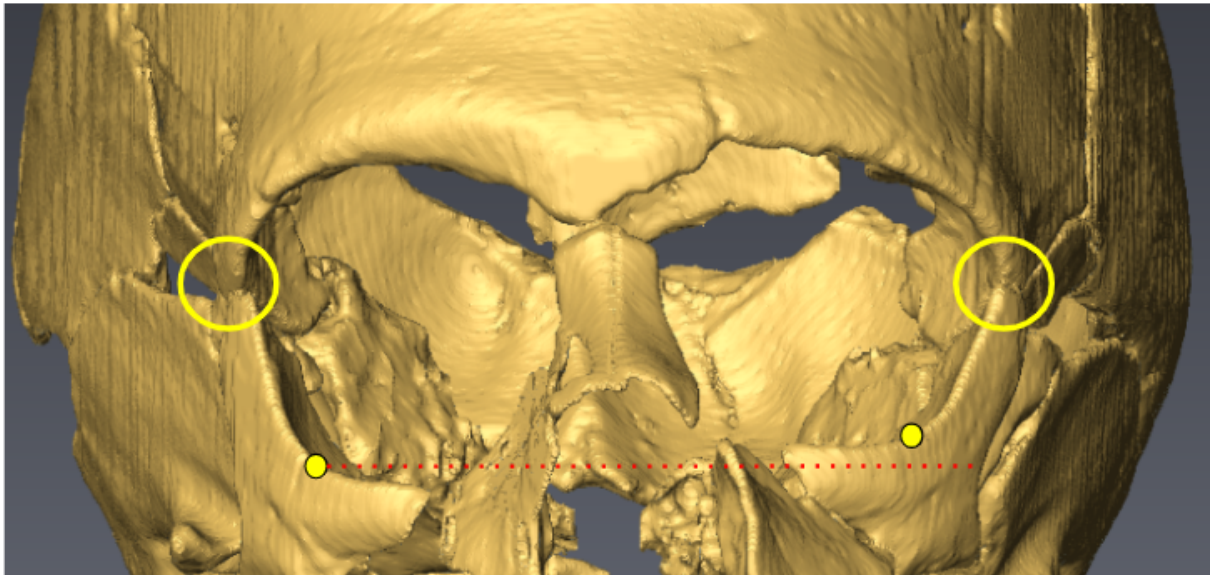
- vomer
- palatins
- partie interne de l'épine nasale
- arcades zygomatiques
- lacrymal
- plancher orbitaire
- partie importante de l'occipital

Dès lors, impossible de placer avec précision les points suivants :

- Acanthion
- Alvéolon
- Inion
- Lacrymal (des deux côtés)
- Maxillo-frontal
- Oral
- Palatino latéral
- Postmolare III
- Prosthion
- Staphylion
- Staurion
- Zygion
- Zygotemporal inférieur

**Zones où les os sont présents mais dont le positionnement est à revoir :**

- **Zygomatiques**

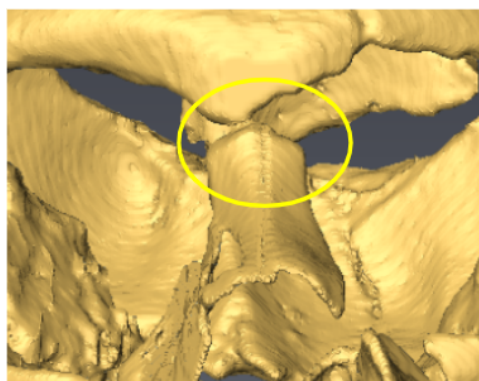


Non-alignement des os gauche et droit et mauvais contact avec l'os frontal.

Landmarks :

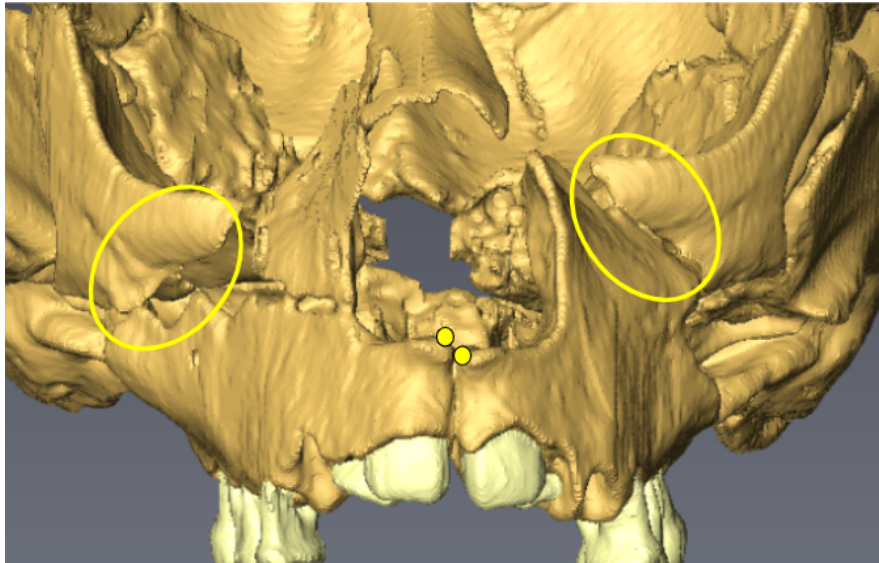
Fronto-malaire orbitaire, Fronto-malaire temporal, Jugal, Orbital, Ectoconchion, Zygo-maxillaire

- **Contacts nasaux - frontal**



Landmarks : Nasion et Maxillo-naso-frontal

- **Maxillaires :**



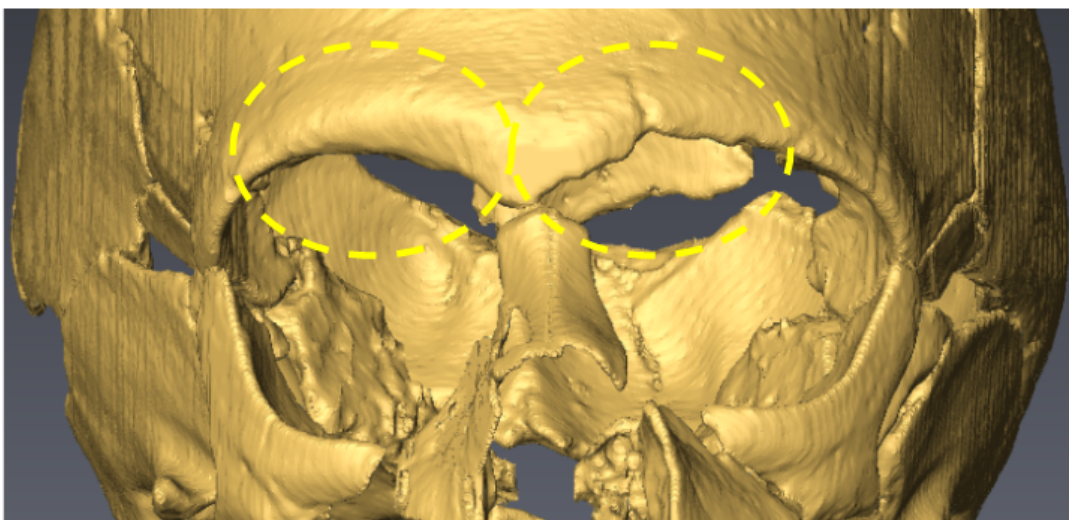
Présence d'un décalage entre les maxillaires droit et gauche. Les contacts avec les zygomatiques sont également à corriger.

Landmarks :

Nasospinal, Narial, Nasal latéral, Subspinal, zygomaxillaire

**Zones à reconstruire par symétrie**

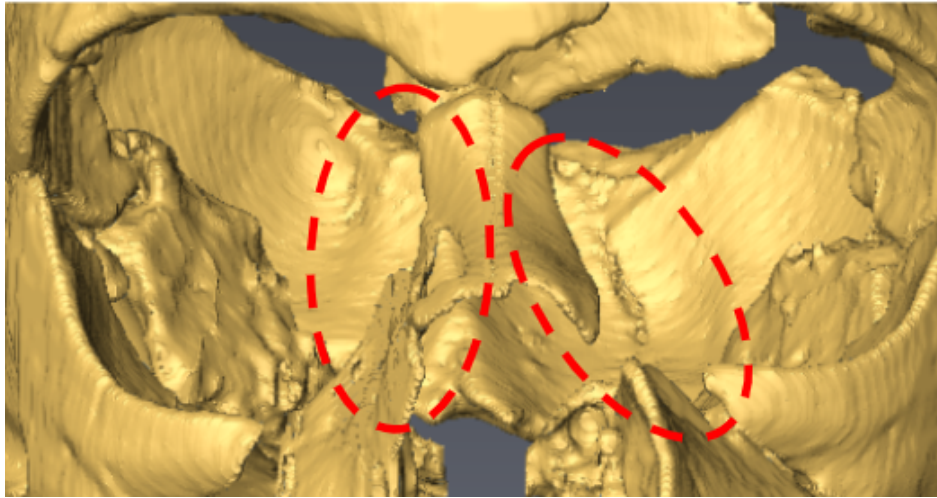
- **Bord orbitaire gauche de l'os frontal**



Possibilité de reconstruire cette zone par image miroir de la partie droite, en l'associant au repositionnement des os nasaux.

Landmarks : Nasion, Rhinion

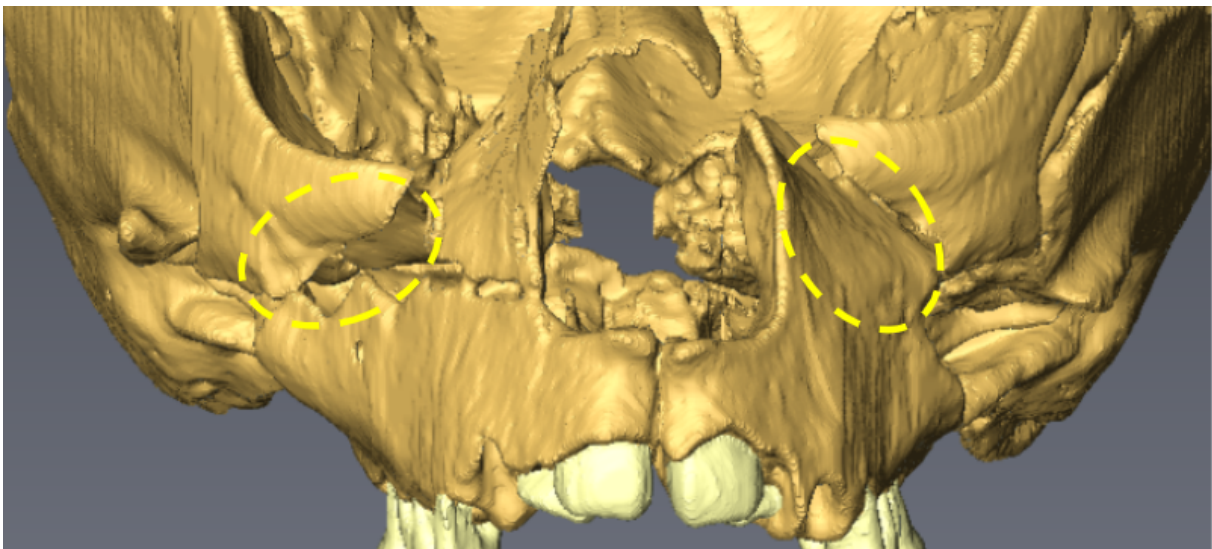
- **Processus frontaux gauche et droit** :



Le processus frontal droit remonte légèrement plus haut que le gauche, possible de récupérer un peu de matière à gauche avec une image miroir pour reconstituer le contact avec les os nasaux.

Landmarks : Maxillo-naso-frontal, nasal inférieur

- **Processus zygomatique du maxillaire**



Landmarks : Infra-orbitaire, Zygo-orbitaire et zygo-maxillaire médian

- **Processus alvéolaire du maxillaire :**



Possibilité de reconstruire cette zone en utilisant le côté gauche en image miroir pour compléter le bord alvéolaire côté droit.

Landmark : Canin.

***Annexe 2 : Références des mesures prises sur les individus de l'échantillon de comparaison***

Spécimen	Code	Âge estimé au décès (années)	Références mesures
La Quina 18	LQ18	5 - 8	Martin 1926, Madre-Dupouy 1992, Verna 2006
Pech de l'Aze	PAzé	1,5 - 2	Ferembach, 1970 ; Tillier 1996, Verna 2006
Roc de Marsal	RdM	2,5 - 4	Madre-Dupouy 1992, Tillier 1996
Engis 2	Eng2	3	Tillier 1983, Verna 2006
Subalyuk 2	Sub2	3	Verna 2006
Gibraltar 2	Gib2	4,5	Tillier 1982, Verna 2006
Teshik-Tash	T-Tash	8-10	Tillier 2002, Verna 2006,
Skhul 1	Skh1	3	Tillier 2002
Qafzeh 10	Qzh10	5	Tillier 2002
Qafzeh 11	Qzh11	13	Tillier 2002
Grotte des Enfants 2	GE2	1,5 - 2	Henry-Gambier, 2001
Grottes des Enfants 1	GE1	2 - 3	Henry-Gambier, 2001
Le Figuier 1	LeF1	3	Billy, 1979
Montgaudier 3	Mg3	7 - 8	Gambier 1987, Arsuaga 2002

***Annexe 3 : Tableau des dimensions de l'orbite droite des individus de l'échantillon***

	M51 - Largeur de l'orbite (d)	M52 - Hauteur de l'orbite (d)
<b>La Quina 18</b>		
Martin, 1926	32	34
Modèle segmenté	36,75	38,82
Modèle reconstruit	39,2	36,3
<b>Néandertaliens immatures</b>		
Roc de Marsal	35	35
Pech de l'Aze	34	33
Teshik-Tash	37,5	33
<b><i>H. sapiens</i> immatures</b>		
Quafzeh 10	38,2	28
GE1 (2-3 ans)	36,9	30,6
GE2 (1.5 - 2 ans)	31,2	25,7

***Annexe 4 : Tableau des dimensions de l'ouverture nasale des individus de l'échantillon***

Specimens	M54 - Largeur du nez (mm)	M55 - Hauteur du nez (mm)
LQ18 2006	22,5	45,4
LQ18 segmenté	23,96	49,22
LQ18 reconstruit	24,2	47,99
<b>Néandertaliens immatures</b>		
RdM	21,8	42,6
PAze	19,5	36,5
T-Tash	29	46
<b><i>H. sapiens</i> immatures</b>		
Qafzeh 10	21,5	41,3
GE1	17,5	30,3
GE2	19,5	36,9
Mg3	19	45

## Résumé

La croissance chez les Néandertaliens et les processus ontogéniques qui lui sont associés constituent un sujet encore mal connu et largement débattu. Comprendre les mécanismes ontogéniques liés à l'apparition des caractères spécifiques de cette espèce représente donc un enjeu scientifique important, dans le but de mieux comprendre l'origine des traits néandertaliens. Afin de pouvoir étudier les caractéristiques autapomorphiques d'*Homo neanderthalensis*, il est crucial de pouvoir caractériser la variabilité qui existe chez les individus immatures, elle aussi très peu connue en raison du faible nombre de fossiles retrouvés dont on peut estimer l'âge et identifier les caractères. Au sein de ce registre, le bloc crânio-facial bien conservé d'un enfant néandertalien a été découvert en 1915 à La Quina (Charente). En son état actuel, ce bloc cranio-facial présente cependant des lacunes osseuses et plusieurs problèmes dans sa reconstitution originale qui ont, jusqu'ici, limité son étude. Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire de Master 2 a consisté à proposer dans un premier temps une nouvelle reconstruction virtuelle de la face de ce néandertalien immature s'approchant davantage de sa morphologie d'origine, puis dans un second temps de réaliser une nouvelle étude morphométrique en prenant des mesures sur la face qui n'ont jusqu'ici jamais pu être prises en compte dans les études antérieures. Ces dimensions ont été comparées avec celles d'enfants néandertaliens et *Homo sapiens* d'âges variés afin de situer La Quina 18 au sein de l'échantillon des individus immature du Paléolithique moyen et supérieur. Cette nouvelle étude s'inscrit donc dans le but de contribuer à la compréhension du développement et de la croissance d'*Homo neanderthalensis*.

### English version

Neanderthals' growth pattern and the ontogenic processes associated with it are still poorly understood and a widely debated subject. Understanding the ontogenic mechanisms related to the appearance of Neanderthal morphology is therefore an important scientific issue, in order to better understand the origin of Neanderthal traits. Studying the autapomorphic characteristics of *Homo neanderthalensis* implies characterizing the variability that exists in immature individuals. However, very little is known about immature Neanderthals because of the paucity of young individuals found in the fossil record. Among those rare immature individuals, the well-preserved skull of a Neanderthal child was discovered in 1915 at La Quina (Charente). This fossil named "La Quina 18" has been reconstituted after its discovery in the 1920s with a mix of wax and glue. This former reconstitution has created several problems that limit the morphometric study of the fossil, because of incorrect contacts between bones associated with many fractured areas. It is therefore difficult to characterize the craniofacial architecture of this neandertal child with its current state of preservation. This Master thesis presents a new 3D virtual reconstruction of La Quina 18 with the adjustment of bones position and reconstruction of breaking parts using bilateral symmetry. A new morphometric study has also been conducted, based on the virtual reconstruction. This morphometric study provides new data by taking measurements on the face which have never been taken into account in previous studies. These dimensions were compared with Neanderthal and *Homo sapiens* children of various ages, in order to situate La Quina 18 within the sample of immature individuals of the Middle and Upper Paleolithic. This new study is therefore intended to contribute to the understanding of the development and growth of *Homo neanderthalensis*.