



**HAL**  
open science

# Paléoimagerie appliquée aux Homo sapiens de Qafzeh (Paléolithique moyen, Levant sud). Variabilité normale et pathologique

Dany Coutinho Nogueira

► **To cite this version:**

Dany Coutinho Nogueira. Paléoimagerie appliquée aux Homo sapiens de Qafzeh (Paléolithique moyen, Levant sud). Variabilité normale et pathologique. Anthropologie biologique. Université Paris sciences et lettres, 2019. Français. NNT : 2019PSLEP072 . tel-02637178

**HAL Id: tel-02637178**

**<https://theses.hal.science/tel-02637178v1>**

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**THÈSE DE DOCTORAT**  
**DE L'UNIVERSITÉ PSL**

Préparée à l'École Pratique des Hautes Études

**Paléoimagerie appliquée aux *Homo sapiens*  
de Qafzeh (Paléolithique moyen, Levant sud).  
Variabilité normale et pathologique**

Soutenue par

**Dany COUTINHO NOGUEIRA**

Le 18 décembre 2019

Ecole doctorale n° 472

**Ecole doctorale de l'École  
Pratique des Hautes Études**

Spécialité

**Anthropologie biologique**

Composition du jury :

Eugénia, CUNHA Professeur, Université de Coimbra	<i>Rapporteur</i>
Asier, GÓMEZ OLIVENCIA Chargé de recherche, Université du Pays Basque	<i>Rapporteur</i>
Christine, COUTURE-VESCHAMBRE Maître de conférences HDR, Université de Bordeaux	<i>Examineur</i>
Olivier, DUTOUR Directeur d'études, EPHE	<i>Président</i>
Israel, HERSHKOVITZ Professeur, Université de Tel Aviv	<i>Examineur</i>
Anne-marie, TILLIER Directrice de recherche émérite, CNRS	<i>Co-directrice de thèse</i>
Hélène, COQUEUGNIOT Directrice de recherche, CNRS Directrice d'études cumulante, EPHE	<i>Directrice de thèse</i>



*“Only the dead fish go with the flow”*

Auteur inconnu

*“Absence of proof is not proof of absence”*

William Cowper (1731 – 1800)



## ***Remerciements***

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Eugénia Cunha et Monsieur Asier Gómez-Olivencia de m'avoir fait l'honneur d'être les rapporteurs de ce travail doctoral. Je remercie également Madame Christine Couture-Veschambre, ainsi que Messieurs Israel Hershkovitz et Olivier Dutour d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et d'avoir examiné ce mémoire.

Ma gratitude va à mes directrices de thèse, Mesdames Hélène Coqueugniot et Anne-marie Tillier, pour leurs conseils, les riches discussions que nous avons pu avoir durant ces 4 années d'encadrement doctoral, leur aide dans la recherche de financement. Merci d'avoir cru en mes capacités, de m'avoir fait confiance, conseillé, orienté. Anne-marie, merci de m'avoir associé à l'étude des fossiles de Qafzeh, de m'avoir fait bénéficier de tes connaissances, en particulier sur le Paléolithique moyen du Levant, et pour les discussions que nous avons pu avoir sur les fossiles proche-orientaux. Hélène, merci pour vos conseils en paléoimagerie, de m'avoir fait bénéficier de vos financements pour des colloques et ainsi de m'avoir permis de faire connaître mon travail lors de conférences. Je voudrais vous remercier également de m'avoir inclus au sein du projet MACR.OS et permis de vous accompagner étudier la collection de référence de Lisbonne, j'ai beaucoup appris à cette occasion.

Je voudrais exprimer ma gratitude au Professeur Olivier Dutour pour avoir soutenu ma candidature auprès de l'école doctorale de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Ce fut un honneur de faire partie du Laboratoire Paul Broca, le plus ancien laboratoire d'Anthropologie biologique au monde. Dans ce cadre, j'ai pu bénéficier d'un financement pour une mission à la Nouvelle-Orléans à travers le projet VIRT.OS Bordeaux (Région Nouvelle-Aquitaine) et de contrats pour la numérisation et la valorisation du fonds documentaire Paul Broca Enfin, je voudrais vous remercier ainsi que le Pr. Alexandra Buzhilova de m'avoir confié l'étude du soldat napoléonien.

Madame Amélie Vialet, membre de mon comité de suivi de thèse a porté un regard critique extérieur sur mon travail et m'a conseillé. Je voudrais également la remercier, ainsi que le Professeur Henry de Lumley pour l'accueil dont j'ai pu bénéficier à l'Institut de Paléontologie Humaine, Fondation Albert Ier, Prince de Monaco pour la numérisation et l'étude de Qafzeh 6.

Je remercie le Pr. Israel Hershkovitz et Julia Abramov de m'avoir accueilli au sein du *Dan David Laboratory, Sackler School of Medicine* de l'Université de Tel Aviv, pour l'étude des fossiles qui y sont conservés. Je voudrais également remercier Madame Rachel Sarig et son équipe au sein du *Department of Orthodontics, Maurice and Gabriela Goldschleger School of*

*Dental Medicine*, de l'Université de Tel Aviv, pour m'avoir fait découvrir leur laboratoire, leurs travaux de recherches et les discussions que nous avons pu avoir. *Toda raba*.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont donné accès aux fossiles sous leurs responsabilités, et en particulier en ce qui concerne la documentation anthropologique de Qafzeh, Messieurs Bernard Vandermeersch, Ofer Bar Yosef et Baruch Arensburg.

Je remercie également le Professeur. Jean-Jacques Hublin et Heiko Temming pour m'avoir confié les microscans du pétreux de Dar-es-Soltane II H5, Alon Barash, Isabelle Crèveœur et Lynn Copes pour avoir accepté de partager leurs données et leurs scans.

Je suis redevable à toutes les personnes qui ont contribué à améliorer la qualité de mes articles inclus dans ce manuscrit, les rapporteurs anonymes de mes trois articles mais également les Pr. Alan E. Mann, Anne L. Grauer et Christopher Knüsel pour leurs relectures, leurs suggestions et la révision linguistique. Je remercie le Dr. Simon Neubauer pour ces conseils et les discussions que nous avons pu avoir à la Nouvelle-Orléans à l'occasion du colloque de l'AAPA.

Je voudrais remercier les personnes avec qui j'ai plus particulièrement collaboré, le Dr. Bruno Dutailly qui a développé le logiciel TIVMI et qui m'a conseillé et orienté pour ce qui tout ce qui avait trait à la 3D, Frédéric Santos pour son aide précieuse en matière de statistiques et Florent Comte pour son travail sur le soldat napoléonien.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Christine Couture-Veschambre et Patrice Courtaud avec qui tout a commencé en 2010 lors d'un stage de licence 2. Merci de m'avoir renouvelé votre confiance en 2013 lors de mon stage de master 2 en me permettant d'étudier le fossile Regourdou 2, travail qui m'a permis de publier mon premier article scientifique.

Mon travail doctoral s'est déroulé à l'UMR PACEA dont je tiens à remercier également ses directrices actuelles, Mesdames Anne Delagnes et Christine Couture-Veschambre, pour leur accueil au sein du laboratoire.

Merci à Régine Wortmann, Nathalie Kellay, Audrey Bapsalle et Maryelle Bessou pour leur aide respectivement dans les démarches administratives, l'organisation des missions et l'accès au matériel.

Je voudrais remercier la Fondation Irene Levi Sala Care qui a financé deux projets m'ayant permis de réaliser des missions d'études à Paris et à Tel Aviv. J'exprime plus particulièrement ma gratitude au Professeur Anna Belfer-Cohen ; ainsi qu'aux professeurs. Karen Rosenberg,

Erella Hovers, Jean-Jacques Hublin, György Pálfi et Hans Christian Petersen pour leur soutien lors de mes diverses et nombreuses demandes de financements.

Je remercie également l'American Association of Physical Anthropologists de m'avoir attribué le *William S. Pollitzer Student Travel Award* en 2017.

J'ai réalisé mon doctorat sans contrat doctoral ni bourse de recherche. Ce travail n'aurait pas pu se faire sans les différents contrats que j'ai eus au sein de l'équipe support du LabEx Sciences Archéologiques de Bordeaux, à la délégation Aquitaine du CNRS et à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Je voudrais plus particulièrement remercier Valérie Fromentin, coordinatrice du LabEx ainsi que Catherine de Noter, responsable de la communication et Sylvie Maleret, chef de projet labEx ; Gaëlle Bujan, déléguée régionale du CNRS, Julie Steunou, responsable du service communication et Leïla Ramjan, chargée de communication. Vous avez fait preuve d'une grande compréhension lorsque je devais m'absenter pour des missions ou des colloques, et toujours soutenu et encouragé. Il ne m'est pas possible de lister l'ensemble des personnes avec qui j'ai pu collaborer mais je voudrais toutes et tous vous remercier pour ce que vous m'avait apporté sur le plan professionnel et personnel. Ces différentes expériences m'ont permis de beaucoup apprendre notamment sur l'organisation de la recherche et sur la valorisation des sciences.

Ces 4 ans, 1 mois et 12 jours, soit 1503 jours pour être exact, ont parfois (souvent) été semés d'embûches et des personnes n'ont pas toujours facilité les choses mais peut être que sans ces difficultés, ce travail n'aurait pas été le même, peut être que je n'aurais pas été poussé à innover, à trouver des voies alternatives. D'une certaine manière, cela a contribué à améliorer ce mémoire, à me faire progresser et être un meilleur chercheur, alors merci quand même.

Mes compagnons d'aventure, les doctorants de PACEA avec qui j'ai partagé un bout de chemin, je ne les oublie pas : Mikel Arlegi, William Berthon, Andrea Garcia Sagastibelza, Elsa Garot, Anna Loeff, Marie Matu, Selim Natahi, Caroline Partiot, Mathilde Samsel, et plus particulièrement Claire-Elise Fisher, colocataire du bureau des doctorants en fin d'aventure et avec qui nous avons tenter de repeupler le laboratoire en plantes vertes. J'ajoute les doctorants qui sont venus passer quelques mois parmi nous, en particulier Uxue Perez-Arzak et Pedro Henriquez Valido. Je voudrais également remercier les doctorants préhistoriens, plus particulièrement Anthony Sécher et Anaïs Luiza Vignole.

Ces derniers mois n'auraient pas été les mêmes sans les « nouvelles » doctorantes Flora Chauvet-Dumur, Laura Maréchal, Eliza Orellana Gonzalez et Ana Arzelier. Je vous souhaite de réussir.

Je remercie également les « anciens » Pierre Guyomarc'h, Maïté Rivollat et Géraldine Sachau-Carcel pour leurs conseils et leur aide.

Je remercie également mes amis de licence avec qui j'ai partagé les tout débuts de l'aventure bordelaise : Tifanie Briaudeau (courage pour la fin de ta thèse), Emilie Brouillard, Mélanie Bigeat, Laurie Carrion, Hugo Ducasse, Pauline Jossic, Emilie Favroul, Sophie Picabia et Alexandra Sambarrey Je tiens à remercier Marie Ballade, ma binôme de master, colocataire de trois semaines au fin fond de la Dordogne, mais surtout une amie sur qui on peut compter.

Il y a deux « anciens », deux collègues, deux amis que je voudrais plus particulièrement saluer, Antony Colombo et Charlotte Rittermard. Merci d'avoir été là tous les deux, lors des meilleurs moments comme des plus difficiles, d'avoir partagé avec moi des missions un peu partout, sans vous cela n'aurait pas été pareil. Merci de m'avoir supporté (dans tous les sens du terme), encouragé, conseillé, montré la voie. Antony, je ne pourrais pas écrire ici tout ce que tu as apporté dans ma vie professionnelle et personnelle. Au-delà d'être l'une des meilleure personnes que je connaisse, tu es l'un des meilleurs chercheurs et enseignants, j'espère un jour inscrire mon nom à côté du tien dans une publication. Charlotte, nous sommes dans le même bateau depuis 8 ans et je crois bien que c'est une galère. Je te dois beaucoup, tu m'as recommandé pour le poste au sein de la cellule de transfert et mis en relation avec les bonnes personnes. Mes meilleurs souvenirs de thèse, je les ai partagés avec toi dans la salle d'imagerie médicale à discuter (et à segmenter), merci d'avoir supporté mes goûts musicaux éclectiques, particuliers et souvent répétitifs. A tous les deux, je vous souhaite de réussir dans le monde de la recherche (et en dehors !).

*Queria agradecer a minha familia que, de longe, sempre esteve presente quando mais precisava, que sempre incentivou-me durante estes anos todos mesmo sem saber o que é um antropólogo.*

*Mas de todos, a quem mais devo são os meus pais, que desde de pequeno deram-me tudo que precisava para conseguir ser quem queria ser e fazer o que mais gostava de fazer. Deram-me as oportunidades de alcaçar os meus objetivos, de fazer erros, de escolher o meu(s) caminho(s). Obrigado por serem as melhores pessoas que conheço, espero deixar-vos orgulhosos e feliz de ter chegada até onde estou.*

## ***Sommaire***

I.	Introduction .....	13
II.	Contexte.....	17
1.	Historique des fouilles et principales découvertes anthropologiques au Levant Méditerranéen (Paléolithique moyen) .....	17
1.1.	Les premières fouilles .....	17
1.2.	L'après-guerres, de la reprise d'anciens sites à l'exploration de nouveaux territoires (1950-1990).....	20
1.3.	La radiochronologie, de nouvelles dates, de nouvelles données sur les dynamiques de peuplement .....	23
1.4.	Les dernières découvertes et les fouilles en cours .....	23
2.	Présentation du site de Qafzeh .....	26
2.1.	Premières fouilles (René Neuville et Moshé Stékélis, 1933-1935).....	28
2.2.	Deuxième série de fouilles (Bernard Vandermeersch, 1965-1979).....	29
2.3.	La documentation anthropologique .....	30
2.4.	Industrie lithique .....	32
2.5.	Eléments du système symbolique .....	34
2.6.	Matériel faunique .....	35
2.7.	Datations .....	36
III.	Problématique générale .....	37
1.	Quel(s) peuplement(s) au Levant, au Paléolithique moyen ?.....	37
1.1.	Des restes fragmentaires et déformés.....	39
1.2.	De nombreux restes isolés .....	40
1.3.	Une vision partielle de la variabilité intra-site ? .....	41
1.4.	De nombreux individus immatures .....	41
1.5.	Quel apport des développements méthodologiques ? .....	42
1.6.	Quelles autres hypothèses ? .....	42
2.	Que peut apporter de plus une ré-étude des individus de Qafzeh dans ce contexte ?..	44

IV. Matériel et Méthodes .....	46
1. Matériel .....	46
1.1. Qafzeh 6 .....	46
1.2. Qafzeh 9 .....	47
1.3. Qafzeh 25 .....	50
1.4. Echantillons de comparaison .....	53
2. Méthodes ostéobiographiques et statistiques .....	54
2.1. Etude du fossile de Qafzeh 25.....	54
2.2. Réévaluation de l'âge et du sexe de Qafzeh 9 .....	55
2.3. Etude paléopathologique.....	56
2.4. Analyses statistiques .....	56
3. Méthodes de la Paléoimagerie.....	57
3.1. Bref historique .....	57
3.2. Reconstructions/restaurations virtuelles .....	60
V. Résultats.....	84
1. Qafzeh 25, état de conservation et observations morphologiques .....	84
2. Qafzeh 25, étude du labyrinthe osseux.....	93
3. Qafzeh 9, réévaluation de l'âge et du sexe .....	117
3.1. Estimation de l'âge au décès .....	117
3.2. Détermination du sexe .....	120
4. Qafzeh 9, étude paléopathologique de la mandibule.....	122
5. Qafzeh 9, description des atteintes sur le crâne.....	144
6. Qafzeh 9, restauration virtuelle de la mandibule.....	147
VI. Discussion.....	153
1. Méthodologie de restauration virtuelle de fossiles.....	153
2. Identité biologique de Qafzeh 9 .....	155
3. Atteintes observées sur Qafzeh 9 et de leur origine.....	158

3.1.	Les sillons .....	158
3.2.	La lacune osseuse superficielle .....	159
3.3.	Atteintes superficielles sur l'os frontal et l'os pariétal .....	159
3.4.	Méplat et amincissement du diploé/fusion tabulaire.....	159
4.	Discussion paléopathologique générale .....	160
5.	Variabilité au Levant.....	165
5.1.	Variabilité intra-site à partir des données issues des mandibules .....	165
5.2.	Variabilité inter-sites à partir des données issues des mandibules et du labyrinthe osseux.....	165
VII.	Conclusions et perspectives.....	167
Annexes.....		191

## Liste des figures

Figure 1: vue latérale gauche de la tête osseuse de Skhūl IV (McCown et Keith 1939). .....	18
Figure 2: face et vue latérale gauche de la tête osseuse de Skhūl V (A.-m. Tillier) .....	19
Figure 3: face et vue latérale gauche de la tête osseuse de Tabūn C1 (A.-m. Tillier).....	19
Figure 4 : carte montrant les principaux sites moustériens du Levant Méditerranéen (les étoiles représentent les sites ayant livré des restes humains ; modifié d’après Tillier et al. 2011) .....	25
Figure 5: plan de la grotte de Qafzeh indiquant les lieux des fouilles menées par R. Neuville et celles conduites par B. Vandermeersch au niveau du vestibule (Vandermeersch 1981).....	27
Figure 6: stratigraphie du site de Qafzeh indiquant les niveaux ayant livré des fossiles humains et quelques sépultures (Bar Yosef-Mayer et al. 2009). .....	32
Figure 7 : densité du matériel lithique en fonction du temps d’accumulation pour quatre sites levantins (Hovers et Belfer-Cohen 2013).....	33
Figure 8 : exemple de coquillages percés présentant une encoche suggérant leur suspension (Bar Yosef-Mayer et al. 2009) .....	34
Figure 9: reconstruction 3D des différents fragments osseux composant le crâne d’Amud 1.	39
Figure 10 : modèle photogrammétrique du crâne de Qafzeh 6 en vue de face et de profil gauche .....	47
Figure 11: relevé de la sépulture double avec les individus Qafzeh 9 et 10 (d’après un dessin de Dominique Visset ; Tillier 1995) .....	48
Figure 12 : bloc crânio-facial et mandibule de Qafzeh 9 en vue de face et de profil gauche (photos M. Barzani, CFRJ) .....	49
Figure 13 : sépulture de Qafzeh 25 avec l’indication du sondage Neuville (© A.-m. Tillier).	51
Figure 14 : crâne de Qafzeh 25 en vue latérale gauche (©A.-m. Tillier).....	52
Figure 15 : crâne de Qafzeh 25 en vue latérale droite (©A.-m. Tillier).....	52
Figure 16: reconstruction par mirror imaging de Djebel Irhoud 10 (Hublin et al. 2018) .....	61
Figure 17: retrodéformation de Sts 5 grâce à la technique du Reflected Relabeling (Gunz et al. 2009).....	62
Figure 18: chaîne opératoire de restauration virtuelle. Les parties en bleues sont propres aux acquisitions photogrammétriques ou lasergrammétriques .....	83
Figure 19 : montage à partir de plusieurs coupes CT montrant les racines dentaires de Qafzeh 9 .....	117
Figure 20 : partie droite de l’os frontal de Qafzeh 9 présentant plusieurs modifications osseuses .....	144



Figure 21 : A et B Coupes micro-CT de l'os frontal montrant les sillons et les structures sous-jacentes .....	145
Figure 22 : reconstruction 3D des sillons et des canaux sous-jacents.....	145
Figure 23: coupe micro-CT du frontal montrant la lacune osseuse et les structures sous-jacentes .....	146
Figure 24 : coupe micro-CT du frontal montrant le méplat et les structures sous-jacentes ...	147
Figure 25 : mandibule de Qafzeh 9 restaurée en vue de face et supérieure .....	148
Figure 26 : analyse en composante principale des mandibules moustériennes du Proche et Moyen-Orient .....	151
Figure 27: comparaison des crânes adultes de Qafzeh (3, 5, 6 et 9) et de Skhūl (IV, V et IX ; Wolpoff 1980).....	154

## *Liste des tableaux*

Tableau 1 : principales datations proposées pour les sites moustériens du Levant (en italique sont indiquées les datations relatives proposées par les auteurs comparaison par des assemblages fauniques notamment).....	26
Tableau 2: inventaire des restes humains découverts à Qafzeh (A.-m. Tillier).....	31
Tableau 3: liste des individus moustériens du Levant composant notre échantillon de comparaison adulte.....	53
Tableau 4 : principales mesures des dents de Qafzeh 25.....	92
Tableau 5 : stade de fusion des os infracraniens de Qafzeh 9 reprenant les paramètres de Coqueugniot et Weaver (2007).....	119
Tableau 6 : récapitulatif des mesures prises par 5 observateurs et probabilités individuelle pour Qafzeh 9 d'appartenir au sexe féminin ou masculin (Brůžek et al. 2017).....	120
Tableau 7 : résultats des équations discriminantes d'Alonso-Llamazares et Pablos (2019) appliquées à Qafzeh 9. Les équations multivariées sont indiquées en bleues.....	121
Tableau 8 : principales dimensions (en mm) des mandibules découvertes en contexte moustérien et épipaléolithique au Proche et Moyen-Orient (d'après McCown et Keith 1939 ; Suzuki et Takai 1970 ; Vandermeersch 1981 ; Tillier et al. 1989 ; Hershkovitz et al. 1995 ; Schuh et al. 2017, présente étude . Les dimensions entre parenthèses sont estimées. Qafzeh 9 R correspond à la reconstruction virtuelle. ....	149

## I. Introduction

Le Paléolithique moyen au Levant (ca. 200-50 Ka B.P.) est une longue période cruciale pour la compréhension de l'évolution et de la sortie des hommes anatomiquement modernes hors d'Afrique. La région a fourni une importante documentation anthropologique et depuis les premières découvertes dans les années 1930, les fossiles humains mis au jour font l'objet d'un débat majeur sur leurs relations phylogénétiques. Bien qu'ils soient tous associés à une même culture matérielle, le Moustérien (industries dominées par le débitage Levallois), les fossiles humains mis au jour au Levant constituent un groupe anatomiquement très hétérogène (McCown et Keith 1939 ; Vandermeersch 1981 ; Tillier *et al.* 1989 ; Rak 1991 ; Vandermeersch 1991 ; Mann, 1995 ; Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Quam et Smith 1998 ; Wolpoff 1999 ; Tillier *et al.* 2003 ; Tillier, 2005 ; Moskovitz et Smith 2005 ; Tillier *et al.* 2008 ; Harvati et Nicholson-lopez, 2017 ; Tillier et Arensburg 2017).

Parmi les sites archéologiques de la région, la grotte de Qafzeh en Basse Galilée (Israël) présente un intérêt particulier. Ce site a livré en effet un corpus unique d'individus (Vandermeersch 1981 ; Tillier 1999) représentant toutes les classes d'âges, du périnatal à l'âge adulte (dont huit squelettes partiels), qui sont datés de  $92 \pm 5$  ka B.P. (Schwarcz *et al.* 1988 ; Valladas *et al.* 1988). De plus, le site de Qafzeh se distingue par des pratiques funéraires rares, voire uniques pour la période et la région considérées (Vandermeersch 1969 ; 1970 ; Tillier 1995).

Certains de ces fossiles ont subi des processus taphonomiques importants qui les ont déformés et/ou fragmentés (Vandermeersch 1981). Leur état de conservation limite ainsi leur analyse morphométrique par les méthodes traditionnellement utilisées en paléoanthropologie et nécessite le recours à de nouvelles techniques telles que la paléomagerie et la restauration virtuelle 3D.

Notre recherche doctorale utilise cette approche méthodologique pour le ré-examen de trois des sujets du site.

Le premier individu Qafzeh 6, un adulte de sexe masculin, présente le bloc crânio-facial le mieux conservé de la série bien qu'affecté par des déformations et quelques manques osseux. Certaines parties du crâne sont trop déformées pour permettre une meilleure reconstruction plus précise que celle déjà proposée (Vandermeersch 1981), par de simples méthodes physiques, ce

qui fait de Qafzeh 6 un bon candidat pour une restauration virtuelle. Les premières études du bloc crânio-facial mettent en avant une morphologie généralement moderne tout en notant la présence de certains caractères archaïques comme le développement du relief supra-orbitaire, rapprochant le fossile de ce qui peut s'observer chez les Néanderthaliens (Vallois et Vandermeersch 1972). Ces auteurs notent néanmoins, que, de toute la série de fossiles disponibles au moment de leur publication, Qafzeh 6 est celui qui s'éloigne le plus des Néanderthaliens, et se rapproche le plus des *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur.

Le deuxième individu sur lequel nous avons travaillé est Qafzeh 9 qui présente un profil biologique au centre d'un débat dans notre communauté scientifique. Si les études s'accordent sur un âge au décès de jeune adulte (Vandermeersch 1981) ou relevant de la classe d'âge 15-19 ans (Tillier 1995), les résultats sur la détermination de son sexe sont contradictoires. En effet, le fossile est considéré comme étant de sexe féminin (Vandermeersch 1981 ; Trinkaus 1984; Brůžek et Vandermeersch 1997) mais plusieurs études remettent en question cette détermination et proposent un sexe masculin (Rosenberg 1986 ; Rosenberg *et al.* 1988 ; Rak 1990). De même, l'attribution taxonomique relativement peu remise en question au moment de la publication de B. Vandermeersch (1981) est depuis quelques années sujette à discussions (Trinkaus 2007, Schwartz et Tattersall 2010 ; Ackermann *et al.* 2019). Tout comme Qafzeh 6, ce spécimen présente des déformations et des manques osseux d'origine taphonomique qui peuvent en partie expliquer ces débats. Qafzeh 9 est souvent utilisé comme l'holotype du groupe de Qafzeh en dépit de son jeune âge, de ses déformations crâniennes et des différences morphologiques observées au sein du site.

Le troisième individu, Qafzeh 25, est un adulte en partie inédit. Ce spécimen présente un crâne et une mandibule très déformés par le poids des sédiments. Par conséquent, l'étude de ses caractéristiques morphologiques détaillées ne peut être réalisée sans une reconstruction virtuelle. Une première restauration de la mandibule a été récemment réalisée et a révélé des perspectives prometteuses (Schuh *et al.* 2017). L'étude morphométrique fondée sur la mandibule restaurée en 3D a, en effet, mis en évidence, des dimensions la plaçant en dehors de la variabilité connue pour les fossiles levantins. L'examen de la dentition inférieure révèle, grâce aux coupes CT-scan (fermeture de l'apex des racines) et à l'usure dentaire, que Qafzeh 25 est mort au début de la vie adulte (Schuh *et al. ibidem*). Il ne semble pas possible d'utiliser les caractéristiques apportées par le squelette partiel pour attribuer de façon fiable un sexe à Qafzeh 25 ; cependant, la robustesse générale du crâne indique que Qafzeh 25 est proche de celle des

individus adultes Qafzeh 3 et 6 précédemment décrits comme masculins (Vallois et Vandermeersch 1972 ; Vandermeersch 1981).

De précédentes analyses effectuées sur les fossiles levantins grâce à la paléoimagerie ont déjà apporté des informations auparavant inaccessibles et proposé des réponses à certains questionnements. Ainsi, la restauration 3D du crâne adulte très fragmenté d'Amud I a conduit à la réévaluation de ses traits et à une reconstruction faciale virtuelle (Amano *et al.* 2015). Un réexamen du crâne Qafzeh 11 associé à une reconstruction virtuelle de son endocrâne, a révélé que cet individu non adulte avait souffert d'un traumatisme crânio-encéphalique majeur, affectant probablement sa motricité et ses capacités (Coqueugniot *et al.* 2014). Récemment, l'étude de Gómez-Olivencia *et al.* (2018) réévalue virtuellement la morphologie de la cage thoracique de Kebara 2 et dégage des différences morphologiques avec celles des hommes anatomiquement modernes.

Le réexamen de ces trois individus de Qafzeh, 6, 9 et 25, s'effectue, dans notre recherche doctorale, selon trois axes principaux :

1- Une restauration virtuelle des fossiles de Qafzeh et une comparaison morphométrique avec des spécimens levantins

Au cours des deux dernières décennies, les progrès dans les méthodes d'acquisition et de traitement numérique des images 3D ont apporté de nouvelles possibilités dans la restauration virtuelle de fossiles fragmentés et déformés. Les parties manquantes des os peuvent être recréées en utilisant la région symétrique ou un algorithme basé sur un échantillon de référence. Les reconstructions 3D et l'accès aux structures internes permettent une meilleure compréhension de cette population d'un point de vue biologique ; elles autorisent la conduite d'une comparaison élargie avec d'autres Hominines, qui inclut notamment des fossiles nouvellement découverts ou réétudiés depuis leurs premières études consacrées au site (e.g. Quam et Smith 1998 ; Harvati et Hublin, 2012 ; Amano *et al.* 2015, Schuh *et al.* 2017).

2- Une analyse détaillée de structures internes

La tomographie et les reconstructions 3D permettent également, sur ces fossiles, l'accès à des structures internes, impossible par les méthodes classiques d'observation macroscopique. Ces structures sont importantes pour discuter des relations biologiques entre les groupes fossiles. A titre d'exemple, on peut citer l'endocrâne, le labyrinthe osseux et les sinus faciaux. Généralement bien conservée, la partie pétreuse de l'os temporal présente des caractéristiques

morphologiques considérées comme spécifiques à une espèce, en particulier le labyrinthe osseux (Spoor 1993 ; Hublin 1996) et elle peut aider à reconsidérer les relations phylogénétiques. Il est intéressant de noter que le labyrinthe osseux atteint sa taille adulte avant la naissance, ce qui permet une comparaison entre adultes et sujets immatures (Spoor 1993). Le site de Qafzeh présente un intérêt particulier pour étudier cette structure anatomique car le nombre important d'individus disponibles rend ce type d'investigation possible sur une région anatomique ciblée (10 individus, dont 7 sujets immatures et 3 adultes) et permet d'appréhender la variation intra-site. L'étude comparative avec un échantillon enrichi de spécimens de diverses périodes chronologiques et régions de l'ancien monde peut contribuer à une meilleure compréhension des relations entre les fossiles africains, levantins et asiatiques et la sortie d'Afrique de l'homme moderne.

### 3- Une étude paléopathologique

Des études antérieures ont révélé un taux important d'anomalies et lésions rares chez les individus non-adultes de Qafzeh (Tillier 1999 ; Tillier et al. 2001 ; Coqueugniot et al. 2014 ; Dutour et Tillier 2018), ce qui est une particularité au sein des populations moustériennes. La détection éventuelle d'anomalies et de lésions paléopathologiques sur les individus plus âgés sélectionnés pour la présente étude peut fournir de nouvelles informations sur l'état de santé des nomades de Qafzeh mais aussi sur les relations au sein du groupe lui-même en termes démographiques.

De par leur position chronologique, autour de 100 ka B.P., et leur situation géographique au carrefour de trois continents, le site de Qafzeh et ses habitants sont essentiels pour comprendre la préhistoire de la région et plus généralement la dispersion des premiers hommes modernes d'Afrique en Eurasie. La ré-étude des fossiles de Qafzeh avec les méthodes de la paléoimagerie peut apporter des données inédites, contribuant à une meilleure connaissance biologique des chasseurs cueilleurs- nomades ayant fréquenté cette grotte durant le Paléolithique moyen.

## II. Contexte

### 1. Historique des fouilles et principales découvertes anthropologiques au Levant Méditerranéen (Paléolithique moyen)

#### 1.1. Les premières fouilles

Ce sont les découvertes en Galilée et au pied du Mont Carmel, dans les années 1920-30, de Francis A. J. Turville-Petre, Dorothy A. E. Garrod, Théodore D. McCown, Dorothea M. A. Bate, Arthur Keith, René V. Neuville et Moshé Stékélis qui marquent le début des recherches sur les périodes préhistoriques et la paléoanthropologie au Levant.

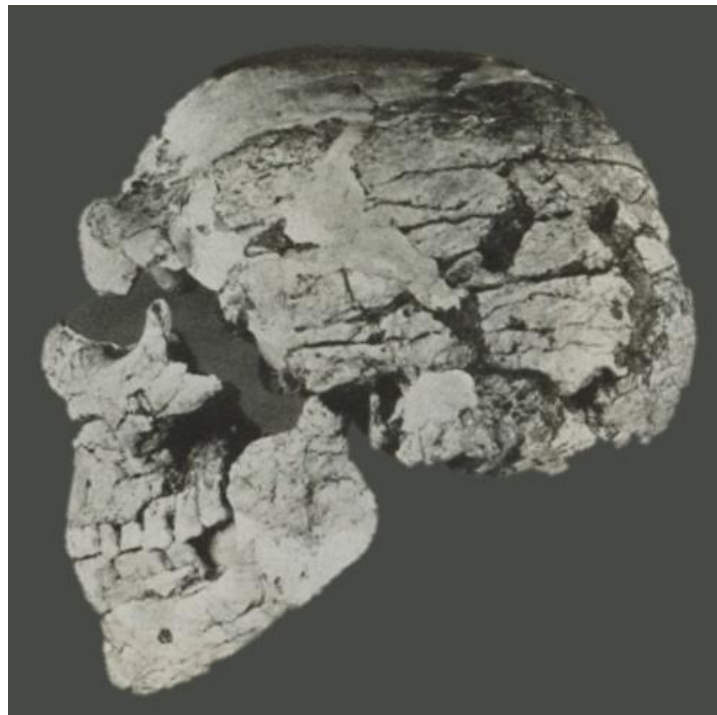
Ces recherches vont, en effet, se développer suite aux fouilles menées en 1925 par Francis Turville-Petre dans le *Wady el-Amud*, en Galilée. Il y explore notamment *Mugharet-el-Zuttiyeh* (grotte des Voleurs). Il fait la découverte d'une calotte crânienne, dans des niveaux alors considérés comme appartenant au Moustérien supérieur. Surnommé : « le crâne de Galilée », il s'agit de la première découverte d'un fossile humain attribué au Paléolithique moyen hors d'Europe (Turville Petre 1927 ; Garrod 1930). Arthur Keith qui étudia cet individu, le rattacha aux Néanderthaliens, tout en soulignant des différences avec les individus européens (Keith 1927). Trois sondages effectués en 1973 à Zuttiyeh par Itzik Gisis et Ofer Bar-Yosef ont été réalisés avec pour objectif de clarifier la stratigraphie du site. Pour les auteurs, le principal résultat de cette mission de terrain est le repositionnement stratigraphique du crâne de l'Homme de Galilée au sein d'un niveau Acheuléo-Yabroudien, ce qui en fait à l'époque le plus ancien fossile humain du Pléistocène supérieur connu pour le Levant (Gisis et Bar-Yosef 1974).

En 1928, Dorothy Garrod débute ses fouilles à proximité du village de Shukbah dans le *Wady en Natuf* (Garrod 1930 ; Garrod and Bate 1942). Plusieurs restes humains sont découverts dans les niveaux inférieurs perturbés et interprétés comme moustériens. Trois de ces restes (une molaire, un fragment de temporal et un fragment de frontal) sont considérés comme appartenant à un Néanderthalien (Keith 1931). Les fouilles à Shukbah ne seront pas poursuivies après 1929 en raison de la découverte d'un fragment d'os long sculpté, dans une cavité vouée à la destruction, lors d'un sondage effectué par M. Lamber dans la grotte de la Vallée (*Mugharet-el-Wad*). Cette grotte se situe dans la Vallée de la Grotte (*Wad-el-Mugharet*), au pied du Mont Carmel, à proximité des grottes du Chameau (*Mugharet-ey-Jamal*) et du Fourneau (*Mugharet-et-Tabūn*). Elles seront fouillées par l'archéologue britannique Dorothy Garrod (Garrod 1937). Non loin, se trouve également la grotte des enfants (*Mugharet Es-Skhūl*) fouillée à partir de 1931 avec Theodore McCown (McCown 1937). Toujours dans la région du Mont Carmel,

Francis Petre-Turville va entreprendre en 1931 de courtes fouilles à *Mugharet el Kebara* (Turville Petre 1932).

Les travaux réalisés sur le Mont Carmel ont permis d'identifier une longue stratigraphie allant du Paléolithique inférieur (« Tayacien ») à l'Épipaléolithique supérieur (Natoufien). Les différents faciès décrits sont comparés et retrouvés dans de nombreux sites en Palestine, au Liban et en Syrie (Garrod et Bate 1937). Par ailleurs, Tabūn et Skhūl, vont livrer entre 1929 et 1934 plusieurs fossiles humains issus de niveaux Levallois-Moustériens.

A Skhūl, D. Garrod, exhume 10 individus (3 sujets immatures et 7 adultes) dont quelques-uns inhumés dans des sépultures ainsi que 16 ossements isolés. L'état de conservation est variable selon les individus. Les individus adultes IV (figure 1) et V (figure 2) sont les squelettes plus complets de la série (McCown et Keith 1939).



*Figure 1: vue latérale gauche de la tête osseuse de Skhūl IV (McCown et Keith 1939).*





*Figure 2: face et vue latérale gauche de la tête osseuse de Skhul V (A.-m. Tillier)*

Les principaux fossiles de Tabūn sont le squelette C1 (figure 3), un individu féminin découvert au sein d'une sépulture (peut être en association avec un nouveau-né, non conservé ; selon Garrod 1933) et une mandibule adulte C2. De nombreuses dents et restes isolés ont également été découverts dans les niveaux B et C (McCown et Keith 1939).



*Figure 3: face et vue latérale gauche de la tête osseuse de Tabun C1 (A.-m. Tillier)*

En parallèle, des fouilles sont menées à Qafzeh, en Basse Galilée, près de la ville de Nazareth par Henri Neuville et Moshé Stékélis à partir de 1933 (cf. partie 2, ci-après).

Plusieurs conflits (Seconde Guerre Mondiale et conflits israélo-arabes) vont, à partir de la fin des années 1930 et jusque dans les années 1950, mettre entre parenthèses les recherches archéologiques au Levant.

### **1.2. L'après-guerres, de la reprise d'anciens sites à l'exploration de nouveaux territoires (1950-1990)**

Les opérations de terrain n'ont véritablement redémarré qu'à partir de la décennie 1960. Néanmoins, deux séries de fouilles ont débuté respectivement en 1951 et 1958. Ainsi, M. Stékélis reprend les fouilles à Kébara entre 1951 et 1965, avec le souhait dans un premier temps de se focaliser sur les périodes du Natoufien et du Kébarien. Néanmoins, la rareté du matériel concernant ces périodes le pousse à explorer les séquences aurignacienne et moustérienne (Schick et Stékélis 1977). Il faudra attendre la dernière année de la mission pour découvrir les restes squelettiques d'un enfant âgé de 7-9 mois, Kebara 1, découvert à proximité immédiate de trois pierres et d'une dent de rhinocéros (Schick et Stékélis 1977 ; Smith et Arensburg 1977). Toujours à proximité du Mont Carmel, E. Wreschner explora, entre 1958 et 1965, la grotte de Geula, au sud de Haïfa. Il en extrait trois restes osseux dont un fragment de frontal droit (Wreschner, 1967). L'étude des restes osseux révèle une proximité morphologique du frontal avec celui de Qafzeh 9. De même, la gracilité des restes infracrâniens (ulna et humérus) suggère un rapprochement avec d'autres restes féminins du Paléolithique moyen du Levant. Sur ces bases, l'auteur rapproche le ou les individus de Geula aux Hommes modernes, les datations chronologiques relatives placent ces restes autour de 45 000 ans (Arensburg, 2002).

Au Liban, une opération de sauvetage est menée en 1959 à Ras El Kelb, au nord de Beyrouth par D. Garrod en collaboration avec Germaine Henri-Martin. Le site a livré plus de 30 000 artefacts d'industrie Levallois-moustérienne (Copeland, 1978). Deux dents ont également été découvertes au sein du site, leur étude n'apporte pas suffisamment d'indices pour proposer une affinité biologique (Bourke, 1998).

La décennie des années 1960 est riche en découvertes anthropologiques au Levant et plus particulièrement en Galilée grâce à la reprise de fouilles dans le *Wady Amud*. La Mission archéologique de l'Université de Tokyo (*Tokyo University Scientific Expedition to Western Asia*) menée par Hisashi Suzuki et Fuyuji Takai fouille la grotte éponyme de la vallée. En 1961, ils y exhument quatre individus dont Amud I, un squelette adulte quasi-complet, qu'ils rapprochent des « Néanderthaliens locaux », tout en soulignant des affinités avec le groupe Qafzeh-Skhül. (Suzuki et Takai 1970). En 1962, toujours dans le *Wady Amud*, Sally Binford

fouille une petite cavité (*Me'arat Shovakh* ou *Mugharet esh-Shubbabiq*) et y découvre une troisième molaire inférieure dans les niveaux moustériens (Binford, 1966). Une attribution taxinomique pour cette dent est difficile. En effet, la présence de six cuspidés et d'une fovea antérieure, ce qui la rapproche de la morphologie néanderthaliennne, mais ses dimensions et la grande variabilité de cette dent au sein des populations modernes ne permettent pas d'exclure totalement une affinité avec les groupes modernes (Trinkaus 1987).

A partir de 1965, des fouilles sont entreprises à Hayonim en Galilée occidentale. La grotte des Colombes (*Me'arat HaYonim*) est ainsi explorée jusqu'en 1979 (avec une interruption en 1972 et 1973) par Baruch Arensburg, Ofer Bar Yosef et Eitan Tchernov, puis de nouveau entre 1992 et 2000, par une équipe internationale et multidisciplinaire menée par Ofer Bar Yosef, Bernard Vandermeersch et Liliane Meignen. Le site montre une longue occupation humaine avec des niveaux moustérien, aurignacien, kébarien et natoufien. L'étude de la faune et les datations absolues effectuées révèle l'ancienneté des niveaux moustériens (entre 220 000 et 115 000 ans, MIS 7 à 5 ; Valladas *et al.* 1998 ; Tchernov 1998 ; Schwarcz et Rink 1998 ; Rink *et al.* 2004 ; Stiner 2005 ; Mercier *et al.* 2007). L'échantillon humain découvert à Hayonim consiste en 21 éléments infracrâniens, crâniens et dents représentant 18 individus au minimum avec toutes les classes d'âges (Tillier *et al.*, 2011). Ces restes sont dans leur majorité associés à une industrie de type Tabūn C (comme à Qafzeh), mais le fait qu'ils soient très fragmentaires, qu'ils proviennent majoritairement de sujets non adultes ou à la limite adolescence-stade adulte soulève la question de la certitude d'une attribution phylogénétique, en dépit d'une proximité morphologique avec les fossiles de Qafzeh (Tillier *et al.* 2011).

Le site de plein air d'Umm El Tlel, en Syrie, près de la ville d'El Kowm est fouillé par plusieurs équipes à partir de 1978, puis dans les années 1980 (Cauvin *et al.* 1979 ; Molist *et al.* 1990). Le site est principalement connu pour sa longue séquence stratigraphique pour le Paléolithique supérieur (40 niveaux archéologiques successifs ; Connet *et al.* 2010). Dans les niveaux moustériens, datés entre 45 000 et 50 000 ans, a été trouvé un fragment droit d'occipital. Malgré la présence d'un torus occipital s'atténuant médio-latéralement, ce qui le rapproche des Néanderthaliens ; l'étude morphométrique de cet ossement ne permet pas une attribution taxinomique incontestable. En effet, ce caractère peut être rencontré chez les hommes modernes comme le montrent Qafzeh 3 et Skhūl 5 (Couture 1998).

Toujours dans la région d'El Kowm, Jean-Marie Le Tensorer explore le site de Hummal dans les années 1980 puis à nouveau à partir de 1997 dans le cadre d'un programme de recherche helvético-syrien. Là encore, le site a livré une longue séquence stratigraphie du Paléolithique

inférieur jusqu'au Paléolithique supérieur. Dans les niveaux moustériens, deux restes humains ont été découverts : une incisive centrale supérieure et un fragment de radius. L'étude biologique de ces deux éléments n'est pas concluante quant à l'attribution phylogénétique. La dent semble porter des traits plus fréquents chez les Néanderthaliens, tout en étant proche dans ses dimensions de celles de Qafzeh. Les proportions du radius le rapprochent des os modernes mais ne l'exclut pas complètement de la variabilité néanderthaliennne (Le Tensorer *et al.* 2011).

En comparaison avec Israël, la Syrie et le Liban, la Jordanie a livré relativement peu de sites et de restes humains pour le Paléolithique moyen. Les principales expéditions archéologiques sont menées par l'Université de Tulsa à partir du milieu des années 1970 et concerne principalement le sud de la Jordanie. La région du Wadi al-Hasa (ou Zered) est également explorée à partir de la fin des années 1970 par plusieurs équipes occidentales. Au sud, les quelques sites ayant livré du matériel lithique moustérien semblent indiquer des correspondances avec une industrie de type Tabūn B. Parmi ces sites, nous pouvons mentionner les abris sous roche de Tor Faraj et Tor Sabiha (Henry, 2017). Dans le Wadi al-Hasa, deux sites se démarquent : WHS 621 et Ain Difla. Le premier découvert à proximité du Paléo-lac Hasa a livré de nombreux outils se rapportant à une industrie de type Tabūn C ; le deuxième, un abri sous roche, est principalement connu pour sa longue séquence contenant un assemblage de type Tabūn D daté entre 180 et 90 000 ans (Clark 2017).

Entre 1982 et 1990, une équipe franco-israélienne reprend des fouilles à Kébara. La découverte la plus marquante de cette nouvelle série de fouilles est la sépulture d'un individu masculin adulte, Kébara 2, dès 1983. Les membres inférieurs sont en partie manquant en raison d'un sondage effectué lors de fouilles précédentes. En revanche, l'absence du crâne serait liée à une intervention humaine après la décomposition du corps (Bar-Yosef *et al.* 1992). Les analyses démontrent la présence sur le squelette de caractères plésiomorphes (en particulier sa robustesse), de caractères plutôt fréquents chez les Néanderthaliens notamment sur la mandibule, les membres supérieurs et le bassin et des traits uniques sur le fossile. L'ensemble de ces caractères s'accompagne de données métriques entrant dans la variabilité moderne (Bar Yosef et Vandermeersch 1991 ; Arensburg et Belfer Cohen 1998 ; Tillier *et al.* 2003).

Durant les années 1990, la collaboration entre les chercheurs japonais et leurs homologues syriens conduit à l'exploration et à l'étude du site de Dederiyeh au nord de la Syrie dans la vallée de la rivière Afrin. Le site va livrer deux sépultures de jeunes enfants en 1993 et 1997 dans des niveaux moustériens (Akazawa *et al.* 1995 ; Akazawa et Muhesen 2003) considérés

par leurs découvreurs comme étant des Néanderthaliens. La datation par radiocarbone de la couche 3 ayant livré le deuxième individu a donné un âge estimé entre 48 100 et 53 600 BP. Cependant, ces résultats sont à rapprocher des données issues de l'analyse du matériel lithique qui s'avère similaire à ceux d'Amud et de Kébara (Akazawa et Muhesen 2003). Une dizaine de fragments osseux ou dentaires ont également été découverts dans le site, certains d'entre eux dans des niveaux moustériens (Akazawa *et al.* 1999). De nouvelles fouilles sont menées en 2009 et ont conduit à la découverte d'une troisième sépulture d'enfant (Kondo *et al.* 2011).

### **1.3. La radiochronologie, de nouvelles dates, de nouvelles données sur les dynamiques de peuplement**

Le développement de nouvelles méthodes de datation et leurs applications aux sites du Levant vont apporter de nombreuses informations pour l'histoire du peuplement du Levant au Paléolithique moyen. Le site de Kébara est l'un des premiers sites à livrer des datations grâce à la radiochronologie. Les niveaux moustériens par thermoluminescence sont ainsi datés entre 47 000 et 65 000 ans ; Kebara 2, l'individu adulte, a quant à lui, un âge estimé autour de 60 000 ans (Valladas *et al.* 1987). Les niveaux moustériens de Qafzeh sont datés par thermoluminescence et l'*Electron Spin Resonance* à  $92\ 000 \pm 5\ 000$  (Valladas *et al.* 1988 ; Schwartz *et al.* 1988). A l'époque, ces datations ont un retentissement important, en effet, les fossiles de Qafzeh démontrent l'existence d'individus d'anatomie moderne autour de 100 000 ans (Vandermeersch 2002). Le site de Skhūl sera à son tour daté par la méthode ESR et livrera un âge anciensimilaire (Stringer *et al.* 1989).

### **1.4. Les dernières découvertes et les fouilles en cours**

Le site de Manot se situe au nord d'Israël, à une quarantaine de kilomètre du Mont Carmel, et a été fouillé entre 2010 et 2014. Le site a été occupé à partir de la fin du Paléolithique moyen et durant le Paléolithique supérieur. Manot a livré une calvaria datée à 55 000 ans dont la morphologie est proche de celle des Hommes modernes du Paléolithique supérieur européen et des populations actuelles d'Afrique de l'Est (Hershkovitz *et al.* 2015). Cet ossement est l'un des rares représentants modernes associé au Paléolithique moyen final.

Ein Qashish, un site de plein air situé dans la Vallée de Jezréel (ou Plaine d'Esdralon) est découvert en 2004 à proximité du Mont Carmel. Il est fouillé en 2005 par l'Autorité des antiquités Israéliennes (Hovers *et al.* 2008) puis de nouveau de 2009 à 2011, cette fois-ci par l'Université Hébraïque de Jérusalem (Hovers *et al.* 2014). Le site a livré trois fossiles : un fragment crânien, une dent (troisième molaire supérieure) et des fragments d'os longs du

membre inférieur. L'étude du fragment crânien n'apporte pas suffisamment d'informations pour une attribution taxonomique fiable, en revanche les autres fossiles sont considérés par leurs auteurs comme néanderthaliens (Been *et al.* 2017). Il s'agit des premiers restes humains découverts dans un site de plein air au Levant. L'occupation du site est datée entre 70 et 60 000 ans (Been *et al. ibidem*).

Des fouilles de sauvetage ont eu lieu en 2010 et 2011 à Neshar Ramla à l'ouest des Monts de Judée. Le site, également de plein-air, se trouve au sein d'une doline (dépression circulaire dans le calcaire). Les datations OSL révèlent une occupation du site entre 170 000 et 80 000 ans. Il s'agit du site levantin le plus important et le mieux préservé en ce qui concerne la période comprise entre la deuxième moitié de l'OIS 6 et le début de l'OIS 5 (160-120 000 ans). Le site a principalement livré une industrie lithique et des restes fauniques (Zaidner *et al.* 2018).

La publication, en janvier 2018, d'un fragment de maxillaire gauche adulte découvert en 2002 dans la grotte de Misliya, au nord d'Israël, attesterait de la présence d'Hommes anatomiquement modernes au Levant entre 194 000 et 177 000 ans, durant le *Early Middle Paleolithic*. Ce fragment osseux est associé à une industrie lithique de type Tabūn-D (Hershkovitz *et al.*, 2018a). Cette étude (et celle des restes d'Hayonim) semble conforter les résultats des études en génétique datant la sortie de l'Afrique il y a 220 000 ans (Posth *et al.* 2017). Cependant, dans le cas de Misliya, les datations sont discutées en raison d'une possible influence des rayons-X (acquisitions micro-CT) sur la technique de l'ESR (Sharp and Paces, 2018). Pour I. Hershkovitz *et al.* (2018b),  $174 \pm 20$  ka représente un âge maximum qui coïncide avec les datations TL du matériel lithique.

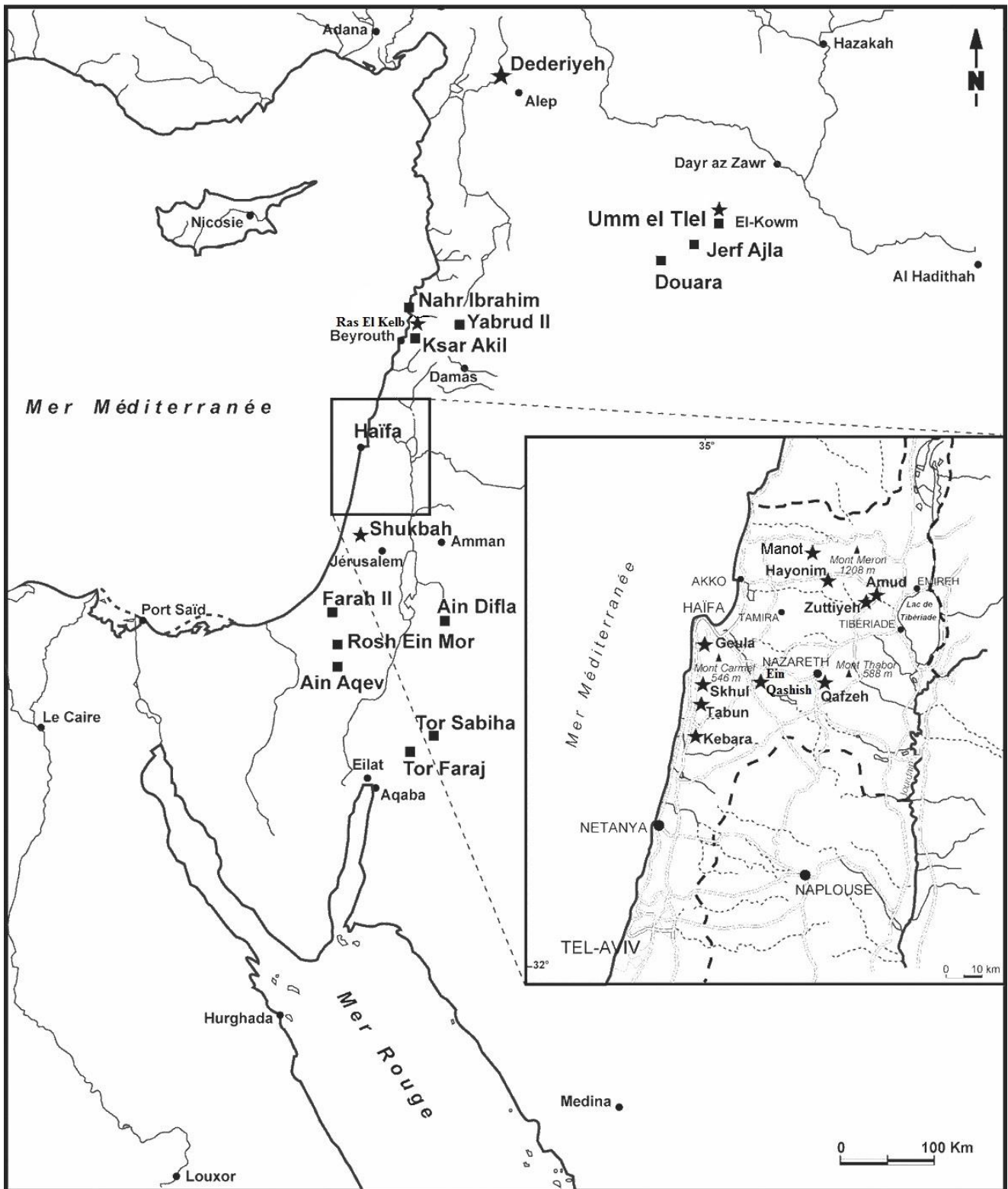


Figure 4 : carte montrant les principaux sites moustériens du Levant Méditerranéen (les étoiles représentent les sites ayant livré des restes humains ; modifié d'après Tillier et al. 2011)

Site ou Individu	Datation	Référence datation
<b>Hayonim</b>	220-115 ka	Rink <i>et al.</i> 2004
<b>Misliya</b>	194-177 ka	HersHKovitz <i>et al.</i> 2018
<b>Tabūn C1</b>	122 ± 5 ka	Grün et Stringer, 2000
<b>Skhūl</b>	119 ± 18 ka	Mercier <i>et al.</i> 1993
<b>Qafzeh</b>	92 ± 5 ka	Valladas <i>et al.</i> 1988
<b>Ein Qashish</b>	<i>70-60 ka</i>	Been <i>et al.</i> 2017
<b>Amud 7</b>	60 ka	Valladas <i>et al.</i> 1999
<b>Kébara 2</b>	60 ka	Valladas <i>et al.</i> 1997
<b>Dederiyeh 1</b>	<i>60 ka</i>	Akazawa et Muhsen, 2002
<b>Manot</b>	55 ka	HersHKovitz <i>et al.</i> 2015
<b>Umm el Tlel</b>	<i>50-45 ka</i>	Couture, 1998
<b>Dederiyeh 2</b>	<i>48.1 – 53.6 ka</i>	Akazawa et Muhsen, 2003
<b>Geula</b>	<i>45 ka</i>	Arensburg, 2002

Tableau 1 : principales datations proposées pour les sites moustériens du Levant (en italique sont indiquées les datations relatives proposées par les auteurs comparaison par des assemblages fauniques notamment).

Une datation plus ancienne est proposée pour Skhul IX à 131 ka B.P. (Grün *et al.* 2005)

## 2. Présentation du site de Qafzeh

La grotte de Qafzeh<sup>1</sup> se situe sur le Mont du Précipice (جبل الفزة *Jabal al Qafza* en arabe, הר הקדימה *Har Kedumin* en Hébreu) à environ 2.5 km au sud-sud-ouest de la ville de Nazareth en Basse Galilée. La grotte s'ouvre sur le versant sud-ouest de la colline, dans le Djebel Qafzeh, à 220 m d'altitude et 7 m au-dessus du talweg du Wadi du Pèlerin (*Wadi el Hadj* ou *Nahal Mizra*), un petit torrent dont le cours se poursuit jusqu'à la Vallée de Jezréel.

La grotte est creusée dans des calcaires secondaires (Vandermeersch, 1966). Elle peut se diviser en deux grandes parties : la salle principale, rectangulaire (21m sur 12m) et un « vestibule ». Ce dernier est une zone de transition abritée par les parois et le toit de la grotte. Il est séparé de

<sup>1</sup> Dans les publications anciennes ou sur les pièces osseuses, il est possible de trouver l'orthographe « Kafzeh » qui est une transcription de l'arabe utilisée par Robert Koeppel (1935) et reprise par Neuville dans ses rapports de fouille (Vandermeersch, 1981) ou encore par Howell (1951) et Heim (1984). L'écriture Qafseh a également été utilisée, notamment par Garrod et Bate (1937).



la salle principale par un seuil rocheux d'environ 1.5 m de hauteur (Vandermeersch 1969). Ce vestibule est en continuité avec la terrasse extérieure et à proximité immédiate d'un petit abri (Figure 5).

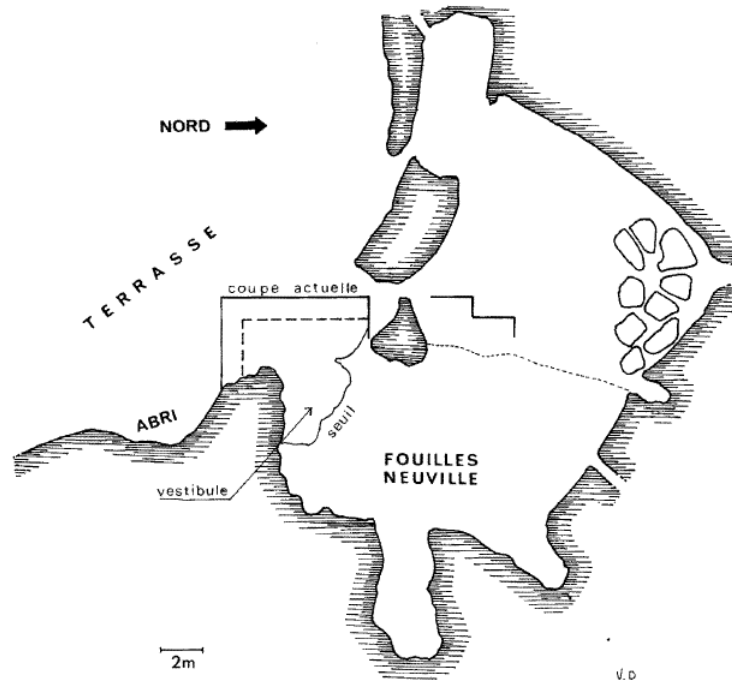


Figure 5: plan de la grotte de Qafzeh indiquant les lieux des fouilles menées par R. Neuville et celles conduites par B. Vandermeersch au niveau du vestibule (Vandermeersch 1981)

Le Mont du Précipice correspond, dans la tradition chrétienne, au lieu décrit dans l'Évangile selon Saint Luc (4, 29-30), depuis lequel les villageois de Nazareth auraient tenté de précipiter Jésus qu'ils ne reconnaissaient pas comme étant le Messie. Il existe en effet une falaise dans la partie supérieure de la colline pouvant correspondre aux descriptions de cet événement biblique. Au Moyen-Âge, cette colline était surnommée « le saut du Seigneur ». Ainsi, à proximité de la grotte de Qafzeh, des traces d'occupation datant de la période byzantine sont encore visibles (Autel, Eglise dédiée à Sainte-Hélène). Des ruines d'un ancien lieu de culte (ancien mur, dallage) de la même période sont également présentes à l'intérieur même de la grotte (Neuville 1951 ; Vandermeersch 2002). Ce lieu a servi par la suite comme refuge pour les bergers avant d'être rendu inaccessible par les sédiments et la végétation, notamment des figuiers de barbarie. Le Mont du Précipice n'a cependant jamais été véritablement abandonné par les congrégations religieuses locales et en 1933, ce sont des prêtres de Nazareth qui découvrent des silex taillés devant la grotte de Qafzeh. Ils en informent René Neuville, alors chancelier au consulat de France en Palestine (Nicault 2001 ; Vandermeersch 1981, 2007). Malgré la suspension de son

statut de protectrice des Lieux Saints du fait du mandat britannique, la France et sa représentation diplomatique à Jérusalem entretiennent des liens particuliers avec les communautés religieuses catholiques (Trimbur 1998 ; Vandermeersch 2002). Cela peut s'expliquer par la volonté des Latins de protéger les Lieux Saints de toute influence britannique protestante (Trimbur 1998). Par ailleurs, René Neuville avait déjà fouillé plusieurs sites dont Oum-Qatafa en 1928 et l'abri de d'Erq El-Ahmar en 1931-1932 (Neuville 1933, 1951 ; Vandermeersch 2007).

### **2.1. Premières fouilles (René Neuville et Moshé Skékélis, 1933-1935)**

Les premières fouilles à Qafzeh sont donc menées par René Neuville en collaboration avec Moshé Stékélis, elles sont subventionnées par l'Institut de Paléontologie humaine, Fondation Prince Albert de Monaco (IPH). La fouille se concentre en 1933 sur l'intérieur de la grotte, mettant au jour une importante stratigraphie du Paléolithique supérieur et moyen ainsi que deux individus (Q1 et Q2). Les deux campagnes de fouilles suivantes en 1934 et 1935 se passent sur la terrasse. C'est dans cette zone et dans les niveaux « Levalloisien inférieur » que seront retrouvés les individus Q3 à Q7. Ils sont envoyés à Marcellin Boule, à l'Institut de Paléontologie humaine. Dans l'attente d'une première description des ossements humains, René Neuville suspend les fouilles à Qafzeh (Vandermeersch 2007).

Les événements historiques (Seconde Guerre Mondiale, fermeture de la représentation diplomatique française en Palestine, conflit israélo-arabe, création de l'État d'Israël) ayant eu lieu à partir de la fin des années 1930 et durant les années 1940, vont retarder la publication des résultats issus des études menées par René Neuville. En effet, ses fonctions de diplomate l'ont emmené dès 1937 dans la Péninsule Ibérique, puis en Afrique du Nord durant la Guerre. Il revient à Jérusalem en 1946 en tant que Consul Général dans un contexte particulièrement tendu (Perrot et Parrot, 1952). Son décès en 1952, quelques mois après la publication de son ouvrage *Le Paléolithique et le Mésolithique du désert de Judée* (Neuville, 1951) empêcha la rédaction d'une monographie sur le site de Qafzeh comprenant l'étude des restes osseux (Neuville 1951 ; Perrot et Parrot 1952; Vandermeersch 1981, 2002).

Marcellin Boule en charge de l'étude du matériel osseux décède en 1942 et n'aura pas le temps de publier les résultats de son étude. Son successeur, Henri Victor Vallois, s'intéresse également aux fossiles mais ne complétera jamais son étude, probablement en raison de doutes sur l'origine stratigraphique des individus (Vandermeersch 2007). Dans leur publication d'un premier individu de Qafzeh, Homo VI, Vallois et Vandermeersch s'interrogent sur la présence

d'une mosaïque de caractères archaïques faiblement marqués (comme la présence de torus sus-orbitaire faiblement développé) et de caractères modernes (orthognathisme, forme de l'occipital, hauteur du crâne, etc.). Ils placent l'individu entre les Néanderthaliens classiques et les Hommes modernes actuels. Ils soulignent d'ailleurs également la présence de cette mosaïque de caractères modernes et néanderthaliens sur l'ensemble des fossiles moustériens du Proche-Orient : ceux du Mont Carmel, de Zuttiyeh et d'Amud dans le wadi du même nom (Vallois et Vandermeersch 1972). Les fossiles mis au jour par R. Neuville et M. Stekelis sont encore aujourd'hui conservés à l'Institut de Paléontologie humaine à Paris, les pièces lithiques étant quant à elles, au Musée Rockefeller à Jérusalem.

## **2.2. Deuxième série de fouilles (Bernard Vandermeersch, 1965-1979)**

En 1963, sous l'impulsion de trois hommes : Jean Piveteau (directeur du laboratoire de Paléontologie des Vertébrés et Paléontologie Humaine de l'Université Paris VI), Jean Perrot (Directeur de la Mission Archéologique française en Israël) et l'Ambassadeur d'Israël en France, l'idée de reprendre des fouilles à Qafzeh est relancée (Vandermeersch 2002).

Les fouilles débutent donc en juillet 1965 avec l'autorisation du Service Israélien des Antiquités et le soutien de la Mission Archéologique française en Israël. Les premiers restes humains découverts sont ceux de Qafzeh 8, mis au jour le 1<sup>er</sup> septembre 1965. Le fossile et les dépôts adjacents seront extraits l'année suivante. En raison de risques d'effondrement de la coupe laissée par Neuville et d'une importante fissure sur une paroi de la grotte, des travaux de consolidation sont effectués afin de sécuriser le site (Vandermeersch 2007).

La découverte exceptionnelle de la sépulture double de Qafzeh 9 et 10 a lieu en août 1967 durant la deuxième année des fouilles (Vandermeersch 1969). Les nouveaux squelettes proviennent de la couche XVII dans les carrés A13/14 et B13/14. Ce dépôt représente à l'époque et aujourd'hui encore la seule sépulture double pour tout le Paléolithique moyen au Levant et dans toute l'Eurasie (Vandermeersch 1969 ; Tillier 2009).

La couche XVII étant particulièrement concrétionnée et bréchifiée, chaque individu a été prélevé en bloc. Les sédiments ont été consolidés à l'aide de plâtre. Ils ont ensuite été évacués du site de Qafzeh par un hélicoptère de l'armée israélienne avant d'être acheminés jusqu'à Paris pour être fouillés et restaurés au sein du laboratoire de Paléontologie des vertébrés (Paris IV) Le dégagement de Qafzeh 9 a nécessité deux ans de travail (Vandermeersch 2007). L'âge attribué à Qafzeh 9 le place « à la limite entre l'adolescence et l'âge adulte » (Vandermeersch 1981), dans la classe d'âge ]15-19] ans (Tillier 2009). L'enfant Qafzeh 10 aurait quant à lui

autour de 6 ans (Tillier et Vandermeersch 1976). Ces âges semblent exclure une filiation directe (parent-enfant) entre les deux individus (Tillier 2009).

Une autre découverte exceptionnelle effectuée en 1969 est celle de la mise au jour de la sépulture de l'adolescent.e Qafzeh 11, inhumé.e dans une fosse sur le dos, les mains ramenées près de la face (Vandermeersch 1970). Un grand fragment de bois de Cervidé a été déposé sur son thorax par les membres de son groupe. Selon Vandermeersch (2007), il s'agissait de la « seule sépulture à offrande incontestable, pour tout le Paléolithique moyen ». L'étude de l'individu Q11 a révélé une fracture crânienne (Dastugue 1981 ; Tillier 1999), réinterprété comme étant un véritable traumatisme crânio-encéphalique probablement responsable d'un handicap moteur et des troubles du langage (Coqueugniot *et al.* 2014). Sa survie (plusieurs années) démontre que le sujet a bénéficié d'une attention particulière du reste du groupe. Ce traumatisme et le handicap qui en découle peuvent être mis en relation avec les gestes funéraires uniques au sein du site (Coqueugniot 2019).

Enfin la dernière année de fouille, 1979, est en partie consacrée au nettoyage d'un sondage réalisé en 1934 par R. Neuville et M. Stékélis, afin de faire un relevé de l'ancienne stratigraphie et la comparer avec celle des fouilles de l'époque. C'est à cette occasion qu'est découverte la dernière sépulture du site, celle de l'adulte Qafzeh 25. Seuls, le crâne et la mandibule ainsi que des ossements du tronc et des membres supérieurs sont conservés, fortement altérés, la partie inférieure du squelette ayant été tronquée par un sondage ancien (Vandermeersch 2007 ; Tillier 2009 ; Schuh *et al.* 2017).

La ville de Nazareth, ayant à la fin des années 1990, un projet d'aménagement du site avec la construction d'un musée, B. Vandermeersch et O. Bar Yosef reprennent en 1996 et 1997 des fouilles afin de remettre le site en état. Elles permettront de compléter les séries lithiques du Paléolithique supérieur et de découvrir deux nouveaux restes humains : un petit fragment de mandibule d'enfant et une canine (Vandermeersch 2007 ; Tillier 2014).

### **2.3. La documentation anthropologique**

Le site de Qafzeh a livré l'une des plus importantes collections de fossiles humains pour le Paléolithique au Levant avec un total de 29 individus (Tableau 2, Figure 6). Dix individus sont représentés par des squelettes partiels, les autres par des dents ou des ossements isolés.

Toute la documentation anthropologique issue des fouilles récentes (Q8 à Q28) est conservée au *Dan David Center of the Department of Anatomy & Anthropology, Sackler Faculty of Medicine* de l'Université de Tel Aviv.

Spécimen	Couche	identification	Age	Références
Q1	B(?)	restes crâniens	adulte	Neuville 1934, 1951 Vandermeersch et al. 2013
Q2	C	restes crâniens	adulte	Neuville 1934, 1951 Vandermeersch et al. 2013
Q3	L	restes crâniens	adulte	Vandermeersch 1981
Q4	L	restes crâniens	Ca. 7 ans	Tillier 1979, 1999
Q4b	L	5 dents	adulte	Tillier 1999, 2014
Q5	L	Squelette partiel	adulte	Vandermeersch 1981
Q6	L	crâne	adulte	Vallois, Vandermeersch 1976 Vandermeersch 1981
Q7	L	Squelette partiel	adulte	Vandermeersch 1981
Q8	XVII	Squelette partiel	adulte	Vandermeersch 1981
Q9	XVII	Squelette	15-19 ans	Vandermeersch 1981
Q10	XVII	Squelette	ca. 6 ans	Tillier 1999
Q11	XXII	Squelette partiel	ca. 13 ans	Tillier 1984, 1999
Q12	XVII	Squelette partiel	ca. 3 ans	Tillier 1999, Tillier et al. 2002
Q13	XVa	Squelette partiel	périnatal	Tillier 1999
Q14	XVII	Restes crâniens, 7 dents	± 6 mois	Tillier 1999
Q15	XVII	Squelette partiel	ca. 8-10 ans	Tillier 1999
Q 16	XVII	Une dent	ca. 6 ans	Tillier 2014
Q 17	XVII	Une dent	adulte	Tillier 2014
Q18	XV	Une dent	ca. 4-6 ans	Tillier 1999
Q 19	XVI	Une dent	adulte	Tillier 2014
Q 20	XVI	5 dents isolées	adulte	Tillier 2014
Q21 (and Q4a)	XVII L (Q4a)	Restes infracrâniens dents	ca. 3 ans	Arensburg et Tillier 1983 Tillier 1999 Courtaud et Tillier 2005
Q22	XVII	Restes infracrâniens	ca. 6-8 ans	Tillier 1999
Q23	XVI	Une dent	2-4 ans	Tillier 1999
Q 24	XXI	Une dent	adulte	Tillier 2014
Q 25	XVII	Squelette partiel	adulte	(unpubl. cf Tillier 2009) Schuh et al 2017
Q 26	XVI	Une dent	adulte	Tillier 2014
Q 27	XIX-XXI	Une dent	adolescent	Tillier 2014
Q 28	XIX-XXI	Fragment de mandibule	ca. 3 ans	Tillier 2014

Tableau 2: inventaire des restes humains découverts à Qafzeh (A.-m. Tillier)

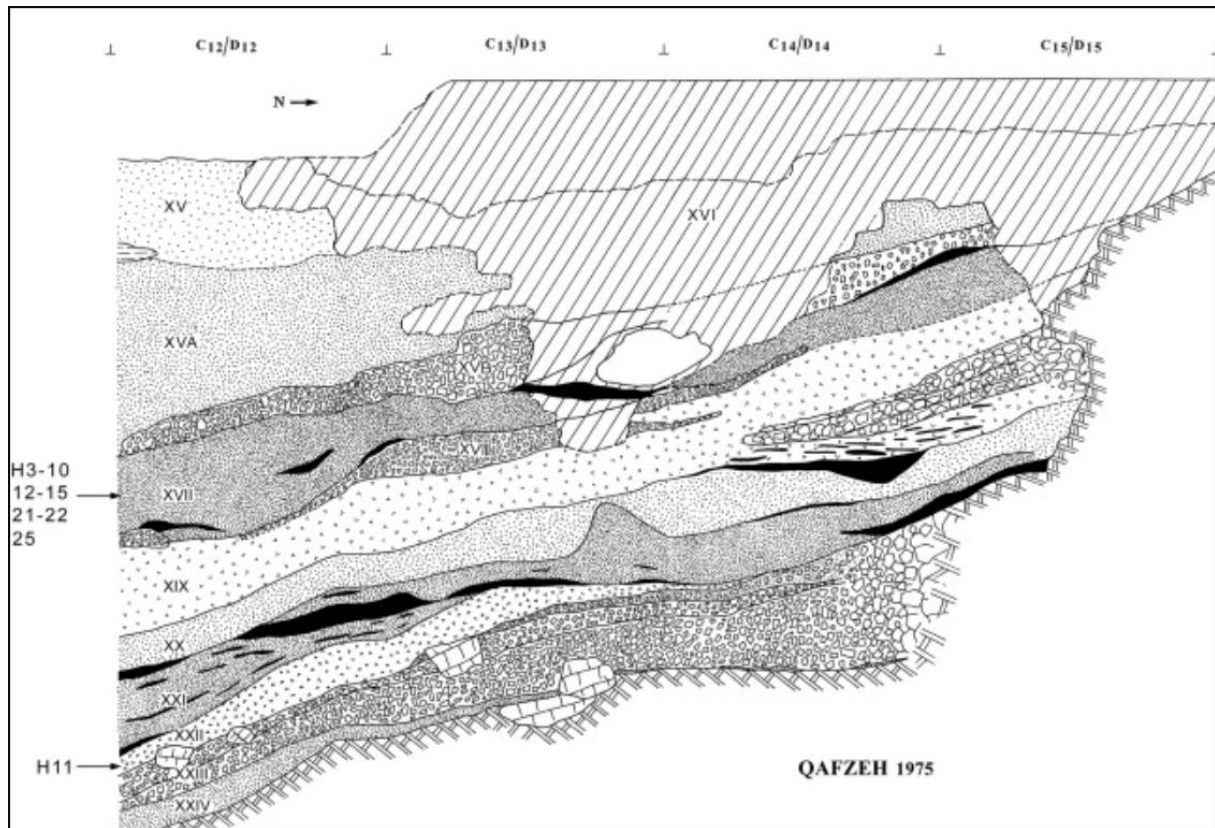


Figure 6: stratigraphie du site de Qafzeh indiquant les niveaux ayant livré des fossiles humains et quelques sépultures (Bar Yosef-Mayer et al. 2009).

#### 2.4. Industrie lithique

Qafzeh représente l'un des rares sites où la production lithique moustérienne, par des hommes anatomiquement modernes, peut être étudiée en fonction de son origine stratigraphique et comparée directement avec l'industrie des néanderthaliens européens (Hovers, 2009).

Les niveaux archéologiques dont sont issus les fossiles de Qafzeh ont livré une industrie moustérienne qualifiée de type Tabūn C comme à Skhūl. La densité du matériel lithique est cependant relativement faible en comparaison avec d'autres sites de la région (Figure 7 ; Garrod et Bate 1937, Bar Yosef 1989, 2000, Boutié 1989, Hovers 1997).

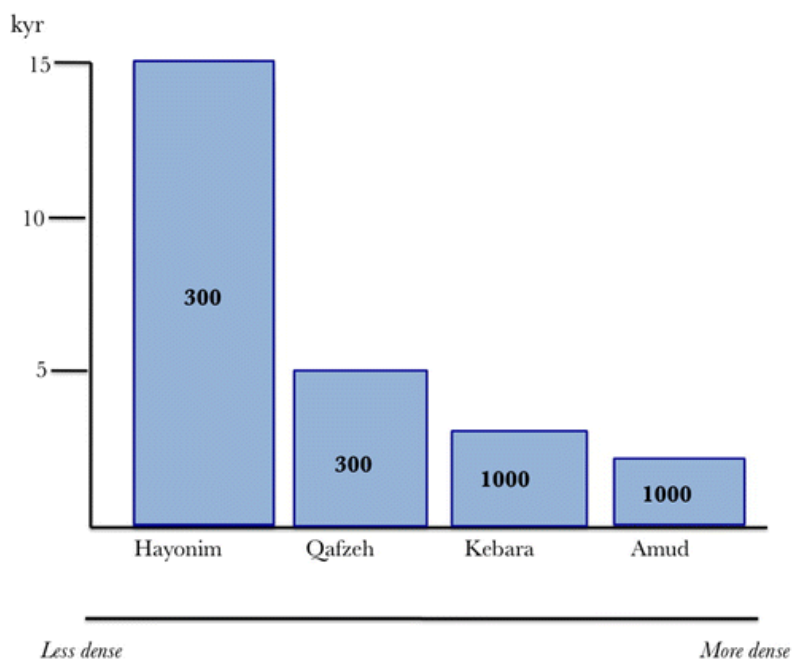


Figure 7 : densité du matériel lithique en fonction du temps d'accumulation pour quatre sites levantins (Hovers et Belfer-Cohen 2013)

L'industrie à Qafzeh est dominée par un débitage dit Levallois principalement centripète récurrent. Le nombre de pièces retouchées est faible, de l'ordre de 8 à 9 %. Les principales productions sont des grattoirs, des éclats et des denticulés. La couche XV se distingue par une proportion plus importante de pointes Levallois. De nombreux nucléus ont également été découverts ainsi que des pointes Levallois (Hovers 2009, Hovers et Belfer-Cohen 2013, Vandermeersch et Bar-Yosef 2017). L'absence de lames mais la présence des nucléus les produisant, suggèrent que celles-ci ont été emportées par les moustériens (Hovers et Belfer-Cohen 2013).

D'après Hovers et Belfer-Cohen (2013), le Paléolithique moyen Levantin se caractérise par une relative stabilité avec une faible évolution culturelle. Cette stabilité relative pourrait être due à la faible dimension des groupes populationnels. Cependant, cette stabilité pose question et semble en décalage avec l'hypothèse d'une origine multirégionale des populations du Levant (Hovers, 2009). De même, Qafzeh et Skhūl semblent faire figure d'exceptions dans ce panorama en raison de l'apparition d'un certain nombre d'innovations technologiques durant l'OIS 5 qui disparaissent à l'OIS 4 (Hovers et Belfer-Cohen 2013). Cependant, dans un article à paraître, Groucutt *et al.* (sous presse) mettent en évidence des différences pour le débitage lithique entre Qafzeh et Skhūl, ce qui semble remettre en question une homogénéité de ces deux groupes, du point de vue matériel, et conforter des observations précédentes (Hovers 2009 ; Belfer-Cohen et Hovers 2010). Cette remise en question est à mettre en parallèle avec les

différences déjà observées sur les autres éléments culturels (Vanhaeren *et al.* 2006; Bar-Yosef Mayer *et al.* 2009).

## 2.5. Eléments du système symbolique

Plusieurs éléments pouvant être interprétés comme ayant une portée symbolique ont été découverts à Qafzeh. Nous pouvons citer, la présence de coquillages percés, la probable utilisation d'ocre, la découverte d'un nucléus présentant des incisions ou bien encore celle d'un bloc présentant des traces de raclages.

Les niveaux archéologiques XXI à XXIV de Qafzeh ont livré des coquillages percés du genre *Glycymeris*. Ces bivalves se trouvent aujourd'hui en abondance sur la côte méditerranéenne, à environ 40 km de Qafzeh. Certaines perforations présentent une encoche caractéristique d'une suspension, ce qui laisse supposée qu'ils ont servi d'ornements (Figure 8, Bar Yosef-Mayer *et al.* 2009). Les coquillages présentent également des traces de couleur rouge, pouvant être un dépôt secondaire d'ocre dû à la manipulation successive d'ocre et des coquillages. Les coquillages ont été découverts dans des couches différentes des sépultures et ne semblent pas être directement associés avec ces dernières (Bar Yosef Mayer *et al. ibidem*).

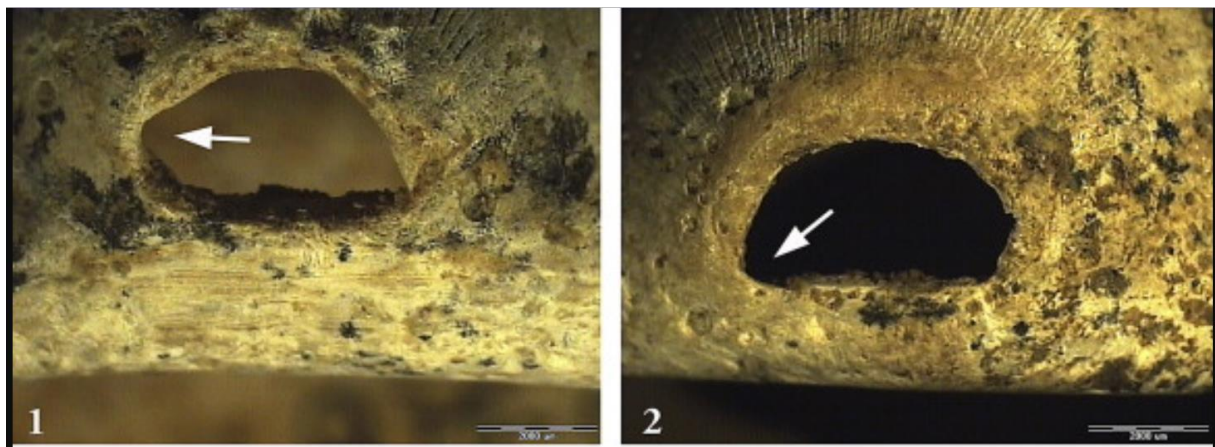


Figure 8 : exemple de coquillages percés présentant une encoche suggérant leur suspension (Bar Yosef-Mayer *et al.* 2009)

Deux artéfacts ayant fait l'objet de modifications intentionnelles de leur état de surface ont été découverts à proximité de la sépulture de l'individu Qafzeh 8, dans la même couche (XVII). Il s'agit d'un nucléus à débitage Levallois présentant des incisions (Hovers *et al.* 1997) et d'un bloc d'ocre de forme tétraédrique avec de nombreuses traces de raclage (Vandermeersch 1969b).



Le site a livré environ 70 fragments d'ocre dont la plupart ont été découverts dans la couche XVII à proximité des carrées C10 et C11. L'ensemble de ces éléments se trouvait au niveau de la terrasse. L'ocre provient de sources éloignées de 8 km de Qafzeh (Salomon *et al.*, 2012). Certains fragments présentent des traces d'utilisations ainsi que des traces de chauffe pour en changer la couleur. Une dizaine d'artéfacts lithiques portant des taches d'ocre sur l'une de leur face ont également été découverts sur le site (Hovers *et al.* 2003).

Une possible association entre les restes de Qafzeh 8, un artéfact lithique incisé et un bloc d'ocre présentant des traces de raclage, a été proposée (Vandermeersch 1969b).

A ces éléments matériels, nous pouvons ajouter comme vu précédemment, la sépulture double de Qafzeh 9 et 10 et le dépôt funéraire d'un bois de cervidé sur le thorax de Qafzeh 11 (Vandermeersch 1969a, 1970)

## 2.6. Matériel faunique

Le matériel faunique découvert lors des fouilles menées sous la direction de B. Vandermeersch est, comme les restes humains, fragmenté en raison de la bréchification du sédiment. Les principales régions anatomiques représentées sont : la mandibule, les dents, les métapodes, les os du carpe et du tarse. La diversité des espèces représentées notamment des mammifères est importante ; Bouchud (1974) cite par ordre d'importance : le cerf élaphe (*Cervus elaphus*), le daim (*Dama mesopotamica*), les aurochs (*Bos primigenius*), ces trois espèces étant dominantes dans l'assemblage faunique. On retrouve également le chevreuil (*Capreolus capreolus*), l'antilope bubale (*Alcelaphus buselaphus*), de nombreux spécimens du genre *Gazella*, des capridés (*Capra ibex*), et de façon plus anecdotique un suidé (*Sus gadarensis*), un équidé (*Equus mauritanicus Pomel*), un rhinocéridé (*Dicerorhinus hemitoechus*) et un chameau (*Camelus sp.*). Il est à noter également une importante microfaune décrite par Haas (1972).

En 2004, R. Rabinovich *et al.* reprennent et complètent l'étude du matériel faunique en incluant les restes découverts lors des campagnes de fouilles suivant la publication de J. Bouchud, mais également en comptabilisant les restes de carnivores.

Les carnivores semblent avoir occupés la grotte peut-être de façon saisonnière en l'absence de l'homme. Ce pourrait être plus particulièrement le cas pour la hyène.

Contrairement aux niveaux Paléolithique supérieur, il ne semble pas y avoir de consommation d'escargot (Avnimelech 1937). Aucun reste de phytolithe ou de fibre végétale n'a été retrouvé (Bar-Yosef Mayer *et al.* 2009).

## 2.7. Datations

Les premières datations ont livré un âge chronologique basé sur la technique de la racémisation des acides aminés (Bada et Helfman, 1976). Les fossiles Qafzeh 3 et 6, provenant de la couche XVII ont tous deux été datés directement et ont livré un âge de 33 000 ans. Ces datations ne sont pas satisfaisantes car des couches stratigraphiquement plus récentes et ayant livré une industrie du Paléolithique supérieur ont été datées par la même technique à 39 000 ans. De plus, la bréchification des couches moustériennes exclut que des squelettes récents aient été inhumés dans des couches plus anciennes (Vandermeersch 1981).

Par comparaison du matériel lithique et faunique avec d'autres sites levantins, O. Bar Yosef et B. Vandermeersch (1981) ainsi que E. Tchernov (1981) émettent l'hypothèse d'une datation ancienne autour de 100 000 ans pour les niveaux de Qafzeh ayant livré les spécimens moustériens.

Les progrès technologiques dans les années 1980 ont permis le développement de méthodes de datation basées sur des techniques précises et directes : la Thermoluminescence et l'*Electron Spin Resonance*. Leurs applications aux niveaux archéologiques moustériens ont permis de confirmer l'ancienneté des niveaux et d'obtenir un âge moyen de  $92000 \pm 5000$  ans avant le présent pour les couches XVI, XVII et XXIII ayant livré les fossiles humains moustériens (Schwarcz *et al.* 1988, Valladas *et al.* 1988).

### III. Problématique générale

#### 1. Quel(s) peuplement(s) au Levant, au Paléolithique moyen ?

L'étude des sites de Qafzeh et de Skhūl a conduit à la remise en question un paradigme en vigueur chez les Préhistoriens et Paléoanthropologues jusque dans les années 1960 qui consistait à associer l'évolution biologique et culturelle, « espèce » et industrie lithique. L'association d'hommes anatomiquement modernes avec une industrie moustérienne a donc mis fin à ce paradigme (Vandermeersch 1981 ; 2007). Parmi les sites anciennement découverts, Qafzeh et Skhūl font figure d'exception car ils sont les seuls pour lesquels un rapprochement avec les Hommes anatomiquement modernes ne fait plus débat (Corruccini 1992 ; Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Wolpoff 1999). Depuis, la découverte d'autres sites est venue renforcer ce constat (Manot, Misliya, etc. ; Hershovitz *et al.* 2015 ; 2018a).

Deux hypothèses principales s'opposent en ce qui concerne le peuplement du Levant au Paléolithique moyen. D'un côté, les partisans de la présence successive de deux populations distinctes, l'une moderne représentée par les fossiles de Qafzeh et Skhūl (et donc Misliya, Manot), et l'autre de Néanderthaliens, avec les individus Tabūn C1, d'Amud, de Kébara ou de Dederiyeh (Rak 2017). D'autres auteurs proposent de regrouper l'ensemble de ces fossiles au sein d'une même espèce dont l'hétérogénéité morphologique pourrait s'expliquer par la période de temps très importante (Arensburg et Belfer-Cohen 1998).

Les débats sur la présence d'une ou de deux populations au Paléolithique moyen débutent dès les découvertes au Mont Carmel au sein même de l'équipe des découvreurs des fossiles. Le fossile Tabūn C1 est peut-être celui qui suscite le plus de discussions. En effet, un doute existe sur la couche à laquelle appartient le fossile (couche C ou inclusion depuis la couche B, Garrod et Bate 1937). De plus, son rapprochement au sein d'une même espèce avec les individus de Skhūl ne fait pas l'unanimité. Ainsi, lors de sa découverte, Dorothy Garrod, tout en notant des caractères proches de ceux de Skhūl (torus sus-orbitaire notamment), souligne des différences importantes dans la robustesse globale et l'absence de menton osseux (Garrod 1932). Theodore McCown semble partager ces doutes et apporte un argument supplémentaire : des différences dans les proportions des membres inférieurs. Il n'exclut néanmoins pas l'appartenance de la mandibule C2 au même groupe que les individus de Skhūl (Keith 1934 ; McCown 1934). En revanche, pour Arthur Keith, il ne fait pas de doute que tous ces individus appartiennent au même groupe : « *we are dealing with individuals of one race* » (Keith 1934). En 1936, dans une première publication des restes fossiles, l'hypothèse de deux espèces est retenue,

Néanderthalien pour le squelette de Tabūn et Hommes modernes pour ceux de Skhūl tout en étant considérés comme contemporains (McCown 1936). Les fossiles sont finalement reclassés avec le crâne de Zuttiyeh au sein d'une nouvelle espèce : *Paleanthropus palestinensis*, dont les individus de Tabūn seraient les plus anciens, représentant alors un chaînon intermédiaire entre les Néanderthaliens et les Hommes modernes. Les auteurs soulignent néanmoins la très grande variabilité au sein de cet échantillon : « *greater in degree and in kind than is to be observed in any local community of modern times* ». Ils notent également que si, seuls les membres inférieurs des individus de Skhūl avaient été découverts, ils auraient été classés parmi les Hommes modernes et nommés « proto-Cro-Magnon » (McCown et Keith 1939, p.16).

Dans les années 1950, Francis Clark Howell est le premier à rediscuter de la classification des individus du Mont Carmel. En 1951, il les définit comme « *early Neanderthals* » mais suggère à partir des caractères morphologiques crâniens qu'ils pourraient être ancestraux à l'Homme moderne (Howell, 1951). Il abandonnera finalement cette classification pour les individus de Skhūl au profit de « Proto-Cro-Magnon » (Howell, 1958). L'année suivante, il proposa également d'ajouter à ce groupe les individus de Qafzeh (Howell, 1959). A l'époque, les hypothèses de F.C. Howell sont peu reprises, en tout cas pour ce qui concerne Qafzeh. B. Vandermeersch propose trois explications à cela : l'absence de description des fossiles, l'existence de doutes sur la stratigraphie du site et l'absence de datation des restes osseux (Vandermeersch, 2002). En fait, seul A. Thoma reprendra le terme de « Proto-Cro-Magnon » pour ces fossiles et avancera l'hypothèse d'un métissage néanderthalien pour les individus de Skhūl en raison de la mosaïque de caractères archaïques et modernes dont ils sont porteurs (Thoma 1965).

Actuellement, les discussions se poursuivent pour de nombreux individus provenant des sites de Tabūn (Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Quam et Smith, 1998 ; Tillier, 2005 ; Moskovitz et Smith 2005 ; Harvati et Nicholson-lopez 2016, Tillier et Arensburg 2017), Kebara (Tillier *et al.* 1989 ; Rak 1990 ; Vandermeersch 1991 ; Tillier *et al.* 2003 ; Tillier *et al.* 2008), et Amud (Mann 1995 ; Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Wolpoff 1999).

Les études et leurs conclusions sont limitées en raison de nombreux problèmes concernant les fossiles levantins : 1) la présence de restes fragmentaires et déformés, 2) la présence sur de nombreux fossiles d'une mosaïque de caractères considérés comme modernes, néanderthaliens et plésiomorphes, 3) la focalisation des discussions sur certains « fossiles-types » et 4) l'interprétation de l'anatomie osseuse sur des individus immatures.

### 1.1. Des restes fragmentaires et déformés

Le Levant a livré de nombreux restes squelettiques fragmentaires et déformés limitant leur étude. Au sein de l'importante documentation anthropologique découverte à Qafzeh, les atteintes taphonomiques dues au poids et à la nature des sédiments ont affecté les restes osseux (Vandermeersch 1981 ; Tillier 1999). L'exemple le plus marquant est celui de Qafzeh 25 dont l'écrasement est extrêmement prononcé (voir description taphonomique). L'apport de techniques de reconstruction ont néanmoins permis d'apporter de nouvelles informations (Schuh *et al.* 2017).

Ce constat est valable pour l'ensemble des sites de la région. Le fossile d'Amud 1 présente, par exemple, une fragmentation très importante de son crâne et des lacunes notamment pour la face (Suzuki et Takai 1970), région anatomique de première importance pour déterminer l'attribution taxonomique. Ainsi, dans la récente reconstruction virtuelle du fossile réalisé par Amano *et al.* (2015), si le nombre exact de fragments n'est pas révélé, les images de la reconstruction 3D de chacun des éléments conservés permet de se faire une idée de l'état général des os crâniens (Figure 9). Il convient par ailleurs de noter également l'absence de la majeure partie de la face et de la base du crâne, porteurs également de nombreuses autopomorphies (néanderthaliennes).

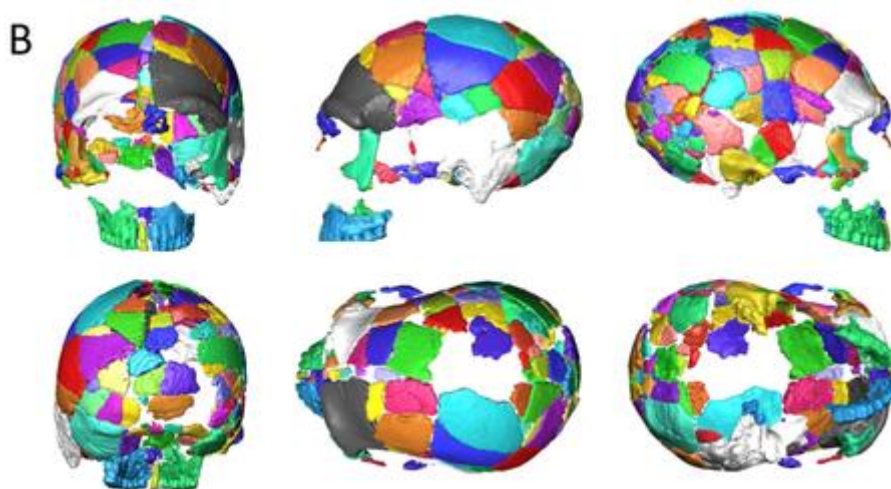


Figure 9: reconstruction 3D des différents fragments osseux composant le crâne d'Amud 1 (Amano *et al.* 2015)

En ce qui concerne les enfants fossiles de Dederiyeh, il est également possible de noter la fragmentation importante des crânes, particulièrement de l'individu Dederiyeh 2. Là encore, les faces ne sont pas conservées, ce qui limite l'observation de nombreux caractères (Akazawa *et*

*al.* 1995 ; Akazawa *et al.* 1999), certains étant particulièrement importants pour l'attribution taxonomique.

## **1.2. De nombreux restes isolés**

Au-delà de la fragmentation et de la déformation des individus les plus complets, il est à noter la découverte de nombreux restes isolés, qu'ils s'agissent de dents ou d'ossements. Ainsi à Qafzeh, sur les 28 individus découverts, 18 sont représentés par des restes isolés. De même, à Kébara, 32 individus ont été identifiés, les mieux conservés étant Kebara 1 et 2, les autres montrent une représentation squelettique nettement plus limitée. C'est le cas également pour les fossiles de la région d'El Kown en Syrie présentant des caractères qui se retrouvent fréquemment dans les populations néanderthaliennes mais aussi sur des individus modernes anciens (Couture 1998 ; Le Tensorer *et al.* 2011). Les restes squelettiques et dentaires de la grotte d'Hayonim ne montrent pas non plus de caractères permettant d'exclure totalement l'attribution à une population moderne. La présence d'une industrie lithique de type Tabūn C comme à Qafzeh et Skhūl n'est pas un argument suffisant en soi pour favoriser un rapprochement entre deux populations, en raison de la variabilité technologique au Levant (Tillier *et al.* 2011). D'autres fossiles ont fait l'objet de nombreuses études sans qu'un consensus se dégage, la mandibule Tabūn C2 en est un bon exemple. Ainsi, Tabūn C2 est néanderthalien pour certains (Wolpoff 1975 ; Smith *et al.* 1989 ; Frayer *et al.* 1993), moderne pour d'autres (Hublin et Tillier, 1981 ; Bar-Yosef et Pilbeam 1993, Rak 1998 ; Quam et Smith 1998), simplement archaïque (Trinkaus 1995) ou bien encore indéterminé (Grün *et al.* 1991 ; Harvati et Nicholson Lopez 2016). R. Quam et F. Smith (1998) basent leur attribution taxonomique notamment sur la forme générale triangulaire de la mandibule en vue inférieure et l'absence selon eux d'un véritable espace rétro-molaire. Ils soulignent néanmoins la présence de caractères « mixtes » (développement des tubérosités ptérygoïdiennes et forme de l'incisure mandibulaire), de caractères archaïques (robustesse générale, insertions musculaires développées) ou bien encore des volumes dentaires importants. Ils notent également les manques au niveau de la symphyse ne permettant pas une observation correcte du menton osseux, nuanciant la présence de ce caractère ayant été proposé par d'autres auteurs (Rak 1998). A.-m. Tillier et B. Arensburg (2017) notent également la configuration H-O (Horizontale-Ovale) du foramen mentonnier et la présence d'un espace retro-molaire, caractères plus fréquents chez les Néanderthaliens. Tabūn C2 est donc un exemple particulièrement représentatif des débats sur les fossiles levantins et soulève deux problèmes majeurs : la présence ou non de certains caractères (espace retro-molaire et menton osseux ?) et

l'interprétation de la présence d'une mosaïque de caractères modernes, néanderthaliens et plésiomorphes.

### **1.3. Une vision partielle de la variabilité intra-site ?**

Le choix de certains individus comme « holotype » de leur population est également remis en question. Ainsi, R.S. Corruccini (1992) et M.H. Wolpoff (1999) questionnent le choix de Skhūl V comme principal représentant pour le site. McCown et Keith (1939) ont en effet focalisé leur étude sur cet individu en raison de son état de conservation mais aussi du fait qu'il s'agit de l'individu ayant la stature la plus importante, et que morphologiquement, il est le plus distinct des Néanderthaliens. Ce choix s'est fait au détriment de Skhūl IV et IX présentant des caractères plus archaïques mais certainement plus représentatifs de ce groupe montrant une grande variabilité (McCown et Keith, 1939). De même, Qafzeh 9 a été considéré comme le représentant de la population de Qafzeh et même comme potentiel ancêtre des populations européennes du Paléolithique supérieur (Fruyer, 1997), allant jusqu'à être surnommé « Ève » (Waddell 2015). Or, il s'agit d'un individu appartenant à la classe d'âge ]15-19] ans (Vandermeersch 1981; Tillier, 2006; Coutinho Nogueira *et al.* 2018) et dont le sexe est discuté (Vandermeersch 1981 ; Rosenberg 1986, 1988 ; Rak 1990 ; Brůžek et Vandermeersch 1997). De plus, cet individu présente des déformations de son squelette. La reconstruction physique de son crâne n'est d'ailleurs pas totalement satisfaisante (Vandermeersch 1981).

### **1.4. De nombreux individus immatures**

Qafzeh a livré un nombre important d'individus immatures, 14 au total (Tillier 1999 ; 2014). Leur étude à apporter de nombreuses informations sur la morphologie et les processus de croissance des populations modernes au Paléolithique moyen. Tout comme à Qafzeh, de nombreux individus immatures appartenant aux populations archaïques ont été découverts dans les sites de la région et l'interprétation de certains caractères portés par ces jeunes individus est sujet à discussion.

Ainsi, Tillier et Arensburg (2017) citent l'exemple d'Amud 7, présentant deux caractères (foramen magnum allongé et tubérosité ptérygoïdienne médiale développée) interprété comme néanderthaliens par Rak *et al.* (1994) mais que l'on retrouve sur des enfants issus de populations subactuelles (Creeds-Miles *et al.* 1996 ; Tillier 1998 ; Coqueugniot 1999). En ce qui concerne, l'enfant Kebara 1, la forte saillie de l'*eminentia arcuata* sur l'os pétreux, interprétée comme un caractère néanderthalien par Smith et Arensburg (1977), est en revanche considérée comme un caractère plésiomorphe par Tillier (1986).

De même, les enfants 1 et 2 de Dederiyeh, âgés tous deux de deux ans, semblent morphologiquement différents l'un de l'autre notamment en ce qui concerne la robustesse générale des os infracrâniens. Cette différence serait due, pour les auteurs, à la différence d'âge chronologique importante entre les deux fossiles (Akazawa *et al.* 1999 ; Akazawa et Muhesen 2003).

Le site d'Hayonim a également livré de nombreux restes humains immatures, cependant, leur caractère fragmentaire ne permet pas une attribution taxinomique certaine même si leur morphologie tend à les rapprocher des fossiles de Qafzeh (Tillier *et al.* 2011).

A travers ces quelques exemples, nous avons pu mettre en évidence que les discussions soulevées et les différentes interprétations possibles pour un même caractère, sont exacerbées sur les individus immatures (autapomorphie néanderthaliennne vs caractère plésiomorphe vs caractère lié à la croissance ; différences liées à la chronologie).

### **1.5. Quel apport des développements méthodologiques ?**

En l'absence de données génétiques, la plupart des développements méthodologiques et des études récentes sur les fossiles levantins concernent principalement l'utilisation de l'imagerie tridimensionnelle et de la morphométrie géométrique. Cependant, l'utilisation de ces dernières n'est pour l'instant pas systématique et peu de fossiles ont pu en bénéficier (e.g. Kondo *et al.* 2011 ; Amano *et al.* 2015 ; Harvati et Nicholson Lopez 2016 ; Schuh *et al.* 2017). De plus, le développement et l'application de ces analyses poussées ne permet pas toujours d'apporter de nouveaux éléments à la discussion pour trois raisons principales, le manque de données concluantes, le choix des échantillons de références et un *a priori* biologique sur l'identité des fossiles. Ainsi, la ré-étude de la mandibule Tabūn C2 par K. Harvati et E. Nicholson Lopez (2017) n'est pas concluante quant à une attribution taxinomique selon les auteurs eux-mêmes. De même, la reconstruction virtuelle de l'individu Amud 1 par Amano *et al.* 2015 est sujette à discussion en raison du choix d'un échantillon de référence néanderthalien s'accompagnant de fait d'un *a priori* biologique. Enfin, quelques études utilisant les techniques de la 3D mettent en évidence des caractères qui sont utilisés pour définir une morphologie néanderthaliennne sur des fossiles dont les affinités phylogénétiques sont parfois discutées (e.g. Weaver and Hublin, 2009 ; Gómez-Olivencia *et al.* 2018).

### **1.6. Quelles autres hypothèses ?**

Les proximités morphologiques et culturelles avec les fossiles nord-africains de Djebel Irhoud ou de Dar-es-Soltan, depuis leurs (ré)études récentes, sont utilisées comme argument pour une



origine africaine des fossiles du Levant de Skhūl et de Qafzeh (Harvati et Hublin 2012 ; Hublin *et al.* 2017, 2018 ; Vandermeersch et Bar-Yosef 2017). Dans deux études à paraître sur le labyrinthe osseux, Coutinho Nogueira *et al.* (voir partie Résultats), et Reyes Centeno (com. pers.) mettent également en évidence des rapprochements entre les fossiles africains et les populations de Qafzeh et de Skhūl.

Plus récemment, Hershkovitz *et al.* (2018a), associent également le fossile de Misliya sur la base de la morphologie du fossile et de la culture matérielle, à une extension de l'aire géographique africaine plus ancienne.

Yoel Rak (2017) propose de virtuellement reconstruire le plus récent ancêtre commun aux fossiles levantins en créant un modèle sans les caractères dérivés observés sur l'ensemble des fossiles du Proche-Orient. Le fossile qui se rapproche le plus de l'« archétype » ainsi reconstruit est selon lui Zuttiyeh, sans toutefois correspondre complètement à la morphologie attendue. Cela est à rapprocher des conclusions de Freidline *et al.* (2012) qui indiquent que la morphologie du frontal et du zygomatique de Zuttiyeh se rapproche de la forme ancestrale et donc de l'ancêtre commun aux lignées néandertalienne et moderne. Les auteurs notent néanmoins la présence de caractères dérivés qu'ils considèrent néanderthaliens et attribuent le fossile exclusivement à cette lignée. Ces deux exemples d'étude mettent en avant une possible évolution locale et une continuité entre les fossiles de la période Acheuléo-Yabroudienne et les fossiles moustériens. Cette hypothèse pourrait être mise en relation avec une présence humaine plus ancienne dans la région (ex Ubeidiyeh, Hazorea, Qesem ou Azokh).

Bar-Yosef et Vandermeersch (1989) ont évoqué l'hypothèse de l'existence de deux lignées néanderthaliennes indépendante, une au Proche-Orient et une autre en Europe pouvant expliquer certaines différences morphologiques entre les deux groupes.

L'hypothèse d'une influence est-asiatique est très peu abordée par les anthropologues. Le manque de données sur les fossiles d'Extrême-Orient contemporains pourrait expliquer ce fait. Une publication de Sohn et Wolpoff (1993) met en avant des proximités morphologiques entre le fossile de Zuttiyeh et les fossiles de Zhoukoudian. Les auteurs rapprochent également ces deux fossiles de Tabūn C1 mais excluent les fossiles archaïques plus récents comme ceux d'Amud. Il convient néanmoins de nuancer ces observations, plusieurs fossiles africains possèdent également des caractéristiques communes à Zuttiyeh et Zhoukoudian tel que le fossile d'Eliye Springs. De même, les auteurs notent quelques similarités avec des fossiles modernes en particulier Qafzeh 6. Ces observations sont tout de même à mettre en perspective

avec les données récentes sur certains fossiles chinois comme Dali. Athreya et Wu (2017) notent dans leur étude que ce fossile présente une face proche de celle des premiers hommes anatomiquement modernes africains et levantins mais préservent une morphologie du neurocranium proche d'*Homo erectus*. Ils proposent de considérer le fossile de Dali comme un représentant d'un groupe transitionnel entre *erectus* et *sapiens*, impliquant une évolution locale avec un apport de gènes en provenance d'Afrique et du Levant. La combinaison d'une face moderne et d'un neurocrâne archaïque se retrouve également sur les fossiles africains de Djebel Irhoud (Hublin *et al.* 2017). Plus récemment, dans leur description du fossile Hualongdong 6, Wu *et al.* (2019) mettent en avant une mosaïque de caractères modernes (face et menton) et archaïque (neurocrâne) et proposent d'attribuer le fossile à une forme transitionnelle vers *Homo sapiens*. Aussi, il est à noter la présence de fossiles anciens décrits par leurs auteurs comme modernes dans le sud de la Chine. C'est le cas de la dent de Daoxian (80-120 ka B. P.), « plus dérivée » que les dents de Qafzeh (Liu *et al.* 2015) ou bien encore Liujiang dont les dates sont discutées mais anciennes (proposition à 111-139 ka, Shen *et.*, 2002).

## **2. Que peut apporter de plus une ré-étude des individus de Qafzeh dans ce contexte ?**

De par leur position chronologique, au cœur du Paléolithique moyen, et géographique, au carrefour de trois continents, le site de Qafzeh et ses habitants sont essentiels pour comprendre le peuplement de la région durant la préhistoire mais également pour appréhender les migrations des premiers hommes modernes entre les différentes régions du globe.

L'approfondissement des connaissances sur la morphologie de ces individus de Qafzeh demeure important pour plusieurs raisons.

L'étude de certains fossiles déjà publiés avec des méthodes traditionnelles (Q6 et 9) et de restes inédits (Q25) avec des techniques actuelles permettrait de mieux appréhender la variabilité intra-site et la diversité morphologique des hommes anatomiquement modernes. Nous avons en effet vu que la plupart des études comparatives se sont focalisées sur Qafzeh 9, sans prendre en compte la variabilité intra-site. Or, en raison de la diversité morphologique des restes moustériens au Levant, la connaissance fine de la morphologie des fossiles dont l'attribution n'est pas remise en cause est d'autant plus importante pour comprendre celle des fossiles dont l'attribution est douteuse.

Les fossiles de Qafzeh représentent la plus importante documentation anthropologique pour cette période et cette région. En dépit des atteintes taphonomiques notables, leur état de conservation est l'un des meilleurs, ce qui permet de réaliser l'étude la plus complète possible. La quantité d'informations accessibles sur ces fossiles est à l'heure actuelle sans égale pour le Paléolithique moyen.

L'analyse comparative des individus de Qafzeh, basée sur la tomodynamométrie, les méthodes morphométriques et la restauration virtuelle, peut apporter de nouvelles connaissances sur les affinités des artisans moustériens de Qafzeh.

La reconstruction et la restauration virtuelle de ces fossiles permettent de corriger les déformations, fragmentation et manques osseux. L'utilisation des fossiles adultes (Qafzeh 6 et 25) permet de s'affranchir des caractères liés à la croissance et à la maturation osseuse. Inclure l'ensemble des fossiles adultes (et pour certains caractères tel que le labyrinthe osseux, l'ajout des individus immatures) permet d'aborder la question de la variation intra-site. La découverte de nouveaux fossiles mais aussi la ré-étude de fossiles anciennement publiés notamment africain et est-asiatiques facilite, aujourd'hui grâce aux techniques et méthodes actuelles, de réaliser des comparaisons plus poussées. Cela permet de mieux comprendre les relations entre les fossiles Levantins, Africains et Chinois contemporains et plus généralement de mieux appréhender le peuplement de l'Ancien monde par l'Homme anatomiquement moderne.

## IV. Matériel et Méthodes

### 1. Matériel

#### 1.1. Qafzeh 6

Qafzeh 6, parfois référencé Homo VI, a été découvert en 1936 lors des fouilles menées par R. Neuville et M. Stékélis, au sein de la couche L (renommée par la suite XVII, selon Vandermeersch 1981). Relativement peu d'informations nous sont parvenues sur les conditions de découverte, en raison de l'absence de publication sur le matériel anthropologique due aux missions diplomatiques puis au décès de René Neuville. Au-delà de Qafzeh 6, quatre autres individus moustériens ont été découverts lors de ces fouilles anciennes et tous sont conservés à l'Institut de Paléontologie Humaine à Paris (Vallois et Vandermeersch 1972 ; Vandermeersch 1981 ; Vandermeersch 2002). L'étude du crâne révèle la présence de nombreux caractères modernes (forme générale du crâne, de la voûte, du frontal et des orbites, orthognathisme, présence d'une fosse canine, etc.). Certains caractères archaïques sont également notés, notamment le développement du relief supra-orbitaire (Vandermeersch 1981), qui dans la première publication originale du fossile est rapproché de ce qui peut s'observer chez les néanderthaliens (Vallois et Vandermeersch 1972). Les auteurs notent néanmoins, que de toute la série de fossiles disponibles au moment de la publication, Qafzeh 6 est celui qui s'éloigne le plus des Néanderthaliens, et se rapproche le plus des Homo sapiens du Paléolithique supérieur.

L'âge et le sexe de cet individu se fondent sur l'étude des caractères crâniens, la robustesse et la forme générale pour le sexe, l'usure des dents ainsi que la fermeture des sutures crâniennes pour l'âge. Les caractéristiques laissent supposer que Qafzeh 6 serait un individu adulte masculin, relativement jeune (Vallois et Vandermeersch *ibidem*).

S'il s'agit du crâne adulte le moins déformé de la série, il présente certains manques osseux notamment dans la région postérieure et la base (Vandermeersch 1981).

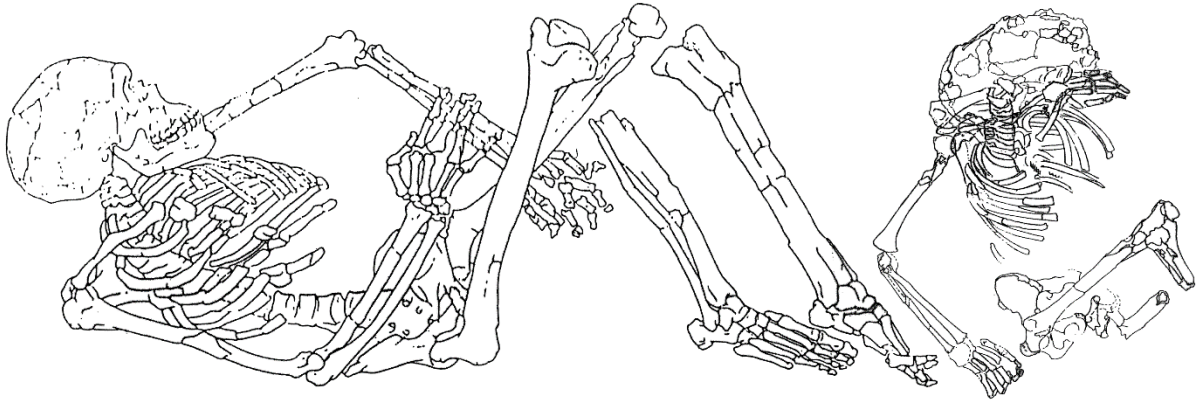
Nous avons réalisé une acquisition photogrammétrique de ce crâne à l'Institut de Paléontologie Humaine (Figure 10).



Figure 10 : modèle photogrammétrique du crâne de Qafzeh 6 en vue de face et de profil gauche

## 1.2. Qafzeh 9

C'est en 1967, lors de la troisième campagne de fouille menée par B. Vandermeersch qu'est découverte Qafzeh 9, au sein d'une sépulture l'associant avec l'enfant Qafzeh 10. Le squelette de Qafzeh 9 reposait selon un axe nord-sud avec la tête au nord, en position semi-fléchie et couché sur le côté gauche. L'enfant Qafzeh 10 se situait à proximité immédiate des pieds de Qafzeh 9 selon un axe Est-Ouest avec la tête à l'Est (Figure 11 ; Vandermeersch 1969a). Plusieurs indices confirment le dépôt simultané de Qafzeh 9 et Qafzeh 10 au sein d'une fosse rectangulaire (1,40 m sur 0,50 m) creusée par les moustériens. Ainsi, les deux individus étaient déposés à l'horizontale dans une couche présentant pourtant un pendage marqué. Des contraintes potentiellement liées au bord de la fosse étaient visibles, ainsi sur Qafzeh 9, les os situés dans sa partie droite étaient parfaitement alignés. L'enfant Qafzeh 10 « était en quelque sorte tassé » (Vandermeersch *ibidem*), les genoux ramenés sur le thorax, sa tête reposant sur la base avec une forte angulation par rapport au reste du corps. De plus, les connexions labiles des mains et des pieds étaient maintenues et aucun basculement des os en dehors du volume corporel n'a été relevé, ce qui suppose également une décomposition en espace colmaté (Tillier 1995).



*Figure 11: relevé de la sépulture double avec les individus Qafzeh 9 et 10 (d'après un dessin de Dominique Visset ; Tillier 1995)*

Le profil biologique de Qafzeh 9 (Figure 12) est un sujet de discussion entre les spécialistes ayant étudié le fossile. Un point de discorde porte sur la détermination du sexe de cet individu. Ces dernières années, l'attribution taxonomique du fossile est également remise en question dans plusieurs études (Trinkaus 2007, Schwartz et Tattersall 2010 ; Ackermann *et al.* 2019).



*Figure 12 : bloc crânio-facial et mandibule de Qafzeh 9 en vue de face et de profil gauche (photos M. Barzani, CFRJ)*

Les premières analyses menées sur le fossile lui attribuent un sexe féminin (Vandermeersch, 1981 ; Brůžek et Vandermeersch 1997) ou probablement féminin (Trinkaus 1984). B. Vandermeersch (1981) base sa détermination du sexe sur plusieurs caractères observables sur le bassin (tels l'indice ischio-pubien de Schultz 1930), l'ouverture de l'échancrure sciatique, la largeur cotylo-sciatique et l'angle sous pubien) mais également sur la gracilité générale du squelette crânien et infra-crânien. Les observations sur le bassin seront confirmées dans une étude métrique et statistique (Brůžek and Vandermeersch 1997).

Cette conclusion est contredite par d'autres chercheurs et un sexe masculin est alors proposé (Rosenberg 1986, Rosenberg *et al.* 1988 ; Rak 1990 ; Frayer *et al.* non publié). Dans son étude Y. Rak (1990) met en avant des rapprochements avec des individus masculins actuels, plusieurs indices calculés à partir de mesures prises sur le pubis et l'ischium se situant dans la variation masculine. Pour K. Rosenberg (1986), plusieurs caractères sur l'os coxal « laissent peu de doute sur le fait qu'il s'agisse d'un spécimen masculin ». Elle cite en particulier la morphologie des branches ischio-pubiennes ainsi que l'absence d'arc ventral et de concavité de la branche

inférieure du pubis. Ces caractères sont repris et complétés par un indice déterminé à partir de la longueur du pubis par rapport au diamètre de la tête fémorale, mis au carré. Cet indice sort complètement de la variation féminine (Rosenberg *et al.* 1988). De plus, dans son travail doctoral, Karen Rosenberg cite une étude non publiée de D. Frayer et al. (n.d.) attribuant également un sexe masculin à Qafzeh 9, la gracilité générale du squelette résultant, pour les auteurs du jeune âge de l'individu.

Ces diagnoses sexuelles contradictoires peuvent, en effet, s'expliquer en partie par le jeune âge au décès de Qafzeh 9, « à la limite entre l'adolescence et l'âge adulte » (Vandermeersch 1981), relevant de la classe d'âge ]15-19] (Tillier 2006), mais aussi par les déformations des os du bassin dues aux processus taphonomiques et au poids des sédiments (Vandermeersch 1981). Nous avons choisi de reprendre ce sujet à l'aide de la DSP (Brůžek *et al.* 2017)

Deux acquisitions micro-CT ont été réalisées sur Qafzeh 9, une sur la mandibule (taille des voxels : 80x80x80µm) et une sur le bloc crânio-facial (200µm).

### **1.3. Qafzeh 25**

Qafzeh 25 a été découvert lors de la dernière campagne de fouille dirigée par Bernard Vandermeersch en 1979. Il provient de la couche XVII comme la plupart des fossiles humains moustériens découverts dans le site (Vandermeersch 1981 ; Tillier 1999). Il se situait au niveau du carré C10, à proximité des restes osseux découverts antérieurement et attribués à des individus immatures (Qafzeh 4, 4a, 21 et 22 ; Tillier 1999).

Qafzeh 25 est représenté par le bloc crânio-facial, la mandibule ainsi que plusieurs éléments du squelette infracrânien appartenant aux membres supérieurs (ossements du carpe et du métacarpe), aux vertèbres et côtes. Le reste du squelette a été tronqué lors d'un sondage réalisé durant les fouilles anciennes menées par René Neuville et Moshé Stékélis en 1934. Tous les éléments du squelette ont subi d'importantes altérations taphonomiques. En raison de l'importante bréchification, le fossile a été retiré du site en bloc et fouillé en laboratoire (Tillier, com. pers.).

En dépit de nombreuses altérations *post mortem*, les ossements ont été découverts en connexion anatomique (ex : humérus et ulna, ulna et radius, vertèbres, bloc crânio facial et mandibule etc. ; Figure 13). Le squelette reposait sur le dos selon un axe nord/sud avec le crâne au nord. Le crâne (Figure 14 et Figure 15) et la mandibule reposaient sur le côté droit. Le membre supérieur gauche était replié sur le thorax et le droit ramené à proximité de la face (Tillier 2009).



Qafzeh 25 est conservé au Département d'Anatomie de la *Sackler School of Medicine* de l'Université de Tel Aviv University (Ramat Aviv, Israël).



Figure 13 : sépulture de Qafzeh 25 avec l'indication du sondage Neuville (© A.-m. Tillier)



*Figure 14 : crâne de Qafzeh 25 en vue latérale gauche (©A.-m. Tillier)*



*Figure 15 : crâne de Qafzeh 25 en vue latérale droite (©A.-m. Tillier)*

Un CT-scan a été réalisé au *Sheba Medical Center* à Ramat Aviv en Israël (paramètres du CT-scan : hauteur et largeur des voxels : 540µm ; épaisseur du voxel : 625 µm ; courant du tube à rayons X : 590 mA ; temps d'exposition : 1277 ms).

Un précédent travail de recherche de master a abouti à la restauration de la mandibule de Qafzeh 25 (Schuh *et al.* 2017). Notre étude se concentre donc principalement sur le bloc crânio-facial et les structures internes tel que le labyrinthe osseux.

#### 1.4. Echantillons de comparaison

Plusieurs échantillons de comparaison ont été utilisés en fonction des différentes analyses et de la région anatomique d'étude.

Nos études comparatives morphométriques et paléopathologiques se sont principalement focalisées sur les fossiles moustériens de Qafzeh et ceux du Levant (Tableau 3).

	Individus	références
Qafzeh	3, 5, 7 et 8	Vandermeersch, 1981
Skhūl	IV, V et IX	McCown et Keith, 1939
Tabūn	I et II	McCown et Keith, 1939
Kebara	2	Tillier, 1991
Amud	1	Suzuki et Takai, 1970

Tableau 3: liste des individus moustériens du Levant composant notre échantillon de comparaison adulte

En complément, nous avons fait des comparaisons avec les individus immatures de Qafzeh notamment en ce qui concerne le labyrinthe osseux, les caractères discrets et les pathologies (Tillier 1999).

Certaines observations ont pu être réalisées grâce aux moulages conservés au laboratoire PACEA (UMR 5199 CNRS, UB, MC).

Pour l'étude comparative des mandibules, nous avons pu ajouter les fossiles de Shanidar (1, 2 et 4 ; Trinkaus 1983) et Ohalo II (Hershkovitz *et al.* 1995).

L'étude des labyrinthes osseux inclut un échantillon de comparaison élargi avec des fossiles du Pléistocène moyen et supérieur d'Eurasie et d'Afrique adultes et immatures (détaillé dans l'article soumis à *Journal of Human Evolution*)

Afin de déterminer le caractère normal ou pathologique de certains traits osseux nous avons utilisé un échantillon d'individus modernes récents

Cet échantillon se compose de restes humains provenant des collections du Département d'Anthropologie du *National Museum of Natural History*, Washington, DC et des collections de l'*American Museum of Natural History*, New York, NY. Les origines géographiques de ces individus sont variées (Mélanésie, Nouvelle-Zélande, Groenland et d'Alaska). Cette documentation anthropologique provenant de sites archéologiques, l'âge et le sexe des individus, lorsqu'ils sont indiqués, ont été déterminés par diverses méthodes anthropologiques d'estimation. Les blocs crânio-faciaux et les mandibules (lorsque conservées, ils ont été scannés à Washington (*Siemens Somatom spiral scanner ; 70  $\mu$ A, 110 kV, slice width 1.0 mm, reconstruction 0.5 mm ; Copes, 2012*). Pour notre étude, nous avons utilisé, 63 individus de diverses origines géographiques, dont 5 jeunes adultes et 6 individus immatures.

Cet échantillon a été complété par 10 individus (âgés entre 2 et 10 ans) de la collection du Département d'Anatomie Normale de la faculté de médecine de Strasbourg (Coqueugniot et Hublin 2012).

La liste des individus de ces deux collections se trouve en annexe.

## **2. Méthodes ostéobiographiques et statistiques**

### **2.1. Etude du fossile de Qafzeh 25**

Une étude taphonomique a été effectuée afin d'extraire de nouvelles données et indices permettant de retracer les événements post-dépositionnels ayant conduit à l'état de conservation actuel du fossile Qafzeh 25 (description des déformations, fragmentations, aspects de surface, atteintes péri et *post-mortem*, etc.). Ces atteintes taphonomiques ont été classées en utilisant la méthode de Weber and Bookstein (2011). Cette étude permettra aussi de distinguer les caractères dûs aux processus taphonomiques de ceux issus de la morphologie du fossile ou éventuellement de pathologies.

Une étude descriptive morphologique et comparative a également été réalisée pour mettre en évidence les principaux caractères du crâne et pour discuter des affinités biologiques de ce fossile. Les principaux paramètres biologiques à savoir l'âge et le sexe de l'individu ont été estimés et discutés à partir de la maturation et l'usure dentaire (Walker *et al.* 1991), du degré

de synostose des suture crâniennes (Meindl et Lovejoy 1995 ) et de la robustesse osseuse (Ferembach *et al.* 1979), par comparaison avec les autres individus du site. Il s'agit des meilleurs indicateurs pour les individus matures en l'absence de l'os coxal qui ne permet pas de réaliser d'estimations basées sur les méthodes de Brůžek (2002) ; de Murail *et al.* (2005) ou de Schmitt (2005).

Les observations macroscopiques réalisées sur le fossile original ont été complétées par l'analyse de données issues des images tomodensitométriques. L'observation des coupes CT et les reconstructions 3D ont été réalisées sous le logiciel TIVMI (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging), développé au sein du laboratoire PACEA (UMR 5199 ; Dutailly *et al.* 2009)

L'état de conservation du fossile Qafzeh 25 n'autorise pas une étude métrique directe sur les ossements du crâne. En complément des données précédemment recueillies sur les dents inférieures (Schuh *et al.* 2017), les données métriques sur les dents supérieures de Qafzeh 25 sont accessibles.

## **2.2. Réévaluation de l'âge et du sexe de Qafzeh 9**

L'âge étant un facteur important à prendre en considération avant d'effectuer une diagnose sexuelle, celui-ci a été réévalué grâce à de nouvelles méthodes ou de nouvelles images tomodensitométriques.

Ainsi l'âge dentaire de Qafzeh 9 a été réévalué à partir des images micro-CT selon la méthode de Moorrees *et al.* (1963) et celle d'AlQahtani *et al.* (2010). Il n'est pas possible d'observer et de coter la série dentaire complète de Qafzeh 9, nous n'avons donc pas testé la méthode de Demirjian *et al.* (1973). La maturation osseuse a été cotée grâce aux méthodes de Coqueugniot et Weaver (2007) et Coqueugniot *et al.* (2010a). L'estimation est calculée par le package BAE (Bayesian Age Estimation for Anthropological Purposes, v. 1.3.1) dans le logiciel R et par le logiciel MACROS ARCHEO (Coqueugniot *et al.* 2018). La maturation des os des mains est également observée à partir de radiographies de la main et une estimation de l'âge est calculée à partir de Birkner (1978).

La détermination du sexe a été réalisée selon la méthode de la Diagnose Sexuelle Probabiliste version 2 (Brůžek *et al.* 2017). Les mesures ont été prises sur les os coxaux de Qafzeh 9 conservés à Tel Aviv puis sur le moulage du laboratoire PACEA. En raison des déformations plastiques subies par le fossile, plusieurs observateurs familiers avec la méthode de la DSP ont



été sollicités pour tester l'erreur inter-observateur. Pour cette même raison, nous avons également testé les équations discriminantes basées sur le talus et le calcaneus mises en place récemment par Alonso-Llamazares et Pablos (2019) dans l'optique de leur application à des spécimens fossiles. Pour cela, nous avons repris les mesures précédemment publiées (Vandermeersch 1981). Les dimensions des os gauches ont été sélectionnées préférentiellement lorsque cela était possible.

### **2.3. Etude paléopathologique**

Plusieurs études menées sur le corpus de Qafzeh ont révélé l'existence de pathologies traumatiques et non-traumatiques sur plusieurs individus. Nous pouvons ainsi citer le traumatisme crânien de Qafzeh 11 (Coqueugniot *et al.* 2014), des troubles rares du développement au cours de la croissance, l'hydrocéphalie de Qafzeh 12 (Tillier *et al.* 2001), le chondroblastome de l'extrémité distale du fémur de Qafzeh 10 (Dutour et Tillier 2018). Plusieurs pathologies dentaires ont également été précédemment notées, des caries (Qafzeh 3, 4, 7 et 9), des malpositions (Qafzeh 9 et 10) ou des rotations dentaires (Qafzeh 11, 15 et 25 ; Tillier 1999, Tillier *et al.* 2004, Tillier 2007, Trinkaus et Pinilla 2009, Sarig *et al.* 2013, Schuh *et al.* 2017).

L'étude paléopathologique à partir des images (micro)CT des blocs crânio-faciaux de Qafzeh 9 et 25 a donc été réalisée afin de détecter éventuellement de nouvelles atteintes mais également de tenter de déterminer l'étiologie de certaines modifications, précédemment notées sur les os, mais d'origine incertaine (Arensburg *et al.* 2006).

Les méthodes classiques de diagnostic différentiel en paléopathologie (Ortner 2003 ; Aufderheide et Rodríguez-Martín 1998 ; Dutour 2011) ont été appliquées aux modifications osseuses et dentaires détectées sur les fossiles.

### **2.4. Analyses statistiques**

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées afin de mettre en évidence les relations possibles entre les individus et/ou les groupes. Les éventuelles corrélations entre les variables peuvent être évaluées à travers une matrice de corrélation ou le cercle des corrélations de l'ACP. Si les variables se répartissent sur le même axe de l'ACP, cela signifie qu'elles sont fortement corrélées entre elles sous l'effet du facteur taille. Afin d'éliminer cet effet, les données sont centrées en lignes et en colonnes et log-transformées en suivant la méthode de

Darroch et Mosimann (1985). Cette méthode a été employée lors d'une précédente étude (Coutinho Nogueira *et al.* 2017).

Des analyses statistiques spécifiques au labyrinthe osseux et sont décrites dans l'article soumis à *Journal of Human Evolution*.

### **3. Méthodes de la Paléoimagerie**

#### **3.1. Bref historique**

La radiographie par rayon X est utilisée en Paléoanthropologie pour la première fois par Dragutin (Karl) Gorjanović-Kramberger sur les fossiles de Krapina (Gorjanović-Kramberger, 1906).

C'est dans les années 1960 et 1970 qu'Allan Cormack va théoriser les principes de la tomodensitométrie que Godfroy Hounsfield va mettre en application et ainsi créer les premiers scanners médicaux, ce qui leur permettra de recevoir le prix Nobel de Physiologie ou Médecine en 1979 (Cormack 1963, 1964 ; Friedland et Thurber 1996). Cette nouvelle technique développée pour la médecine s'applique alors rapidement en Anthropologie. Jungers et Minns (1979) comptent parmi les premiers utilisateurs pour la réalisation d'une étude sur des os long fossiles.

Depuis les années 1980, les technologies en imagerie médicale et industrielle ont révolutionné les études des fossiles humains, créant une nouvelle thématique de recherche que les auteurs anglophones appellent «*Virtual Paleoanthropology*» (Weber 2001). Le développement de l'utilisation des méthodes tomographiques à rayon X, (*Computed Tomography*) et plus récemment micro-tomodensitométriques, a permis d'accroître considérablement le potentiel d'étude. Il est ainsi devenu possible, sans endommager des fossiles rares, d'accéder à des structures internes, comme le labyrinthe osseux de l'oreille interne (Spoor 1993, Spoor et Zonneveld 1995; Hublin *et al.* 1996), l'épaisseur des tissus dentaires (Zanoli *et al.* 2018 ; García-Campos *et al.* 2019), la pneumatisation du bloc crânio-facial (Guipert *et al.* 2011) ou bien encore la microarchitecture osseuse (Colombo 2014 ; Rittemard *et al.* 2017).

Au-delà des études morphologiques, les techniques d'imagerie tridimensionnelle permettent également de modéliser des processus physiologiques comme la parturition (Ponce de Léon *et al.* 2008 ; Meyer *et al.* 2013) ou la croissance (Coqueugniot et Hublin 2012 ; Rosas *et al.* 2017), réaliser des études paléopathologiques (Baker *et al.* 2015 ; Coqueugniot *et al.* 2015 ; Colombo *et al.* 2017 ; Colombo *et al.* 2019 ; Rittemard *et al.* 2019) traumatologiques (Coqueugniot *et al.*

2014, Coutinho Nogueira *et al.* 2019a), étudier des marqueurs d'activités (Berthon *et al.* 2015 ; Scherf *et al.* 2016) ou bien encore réaliser des approximations faciales (Guyomarc'h *et al.* 2014). Au-delà de l'analyse des restes humains ou animaux, les techniques ont pu être utilisées pour permettre une meilleure compréhension des gestes (symboliques) des populations du passées (Joordens *et al.* 2014).

De plus, les progrès en science du numérique, notamment dans le traitement de l'image, autorisent la constitution de corpus de données virtuelles de fossiles humains, permettant leur étude extensive, tout en évitant leur manipulation physique, ce qui constitue un élément déterminant pour leur conservation.

La possibilité de gérer, grâce à des logiciels dédiés, une manipulation virtuelle 3D de pièces fossiles donne une latitude considérable pour restaurer des témoins fossiles importants de l'évolution humaine. La restauration virtuelle de fossiles de la lignée humaine s'est développée depuis le milieu des années 1990. Depuis, un certain nombre de fossiles de première importance pour la compréhension des mécanismes évolutifs ont pu bénéficier des techniques tridimensionnelles : *Sahelanthropus tchadensis* (Toumaï, Zollikofer *et al.* 2005) ; *Australopithecus africanus* (MLD 37/38, Neubauer *et al.* 2004), *Paranthropus boisei* (Benazzi *et al.* 2011a), *Homo erectus s.l.* (Mojokerto, Coqueugniot *et al.* 2004 ; Nankin et Yunxian, Vialet *et al.* 2010 ; KNM ER 1813 : Benazzi *et al.* 2014 ; KNM-ER 42700 : Bauer et Harvati, 2015) ; *Homo heidelbergensis* (Arago 21, Guipert *et al.* 2014 ; Kabwe 1 : Godinho et O'Higgins, 2017) Néanderthaliens (Le Moustier 1 : Ponce de León et Zollikofer, 1999 ; Mezmaiskaya : Ponce de León *et al.* 2008 ; Le Moustier 2 : Gunz *et al.* 2011) ainsi que des Hommes Anatomiques modernes (Lagar Velho, Almeida *et al.* 1997 ; Hofmeyer, Grine *et al.* 2010 ; Cioclovina, Kranioti *et al.* 2011).

Plusieurs fossiles particulièrement importants pour comprendre l'évolution vers les Hommes anatomiquement modernes ont également été étudiés et reconstruits grâce aux techniques de la paléoimagerie. C'est le cas notamment des fossiles de Djebel Irhoud découverts au Maroc (datés à environ 300 000 ans). Des techniques de reconstructions basées sur la symétrie ont été appliquées avec succès sur les individus #10 et #11 (Hublin *et al.* 2017). De même, le fossile de Misliya en Israël, plus ancien représentant hors d'Afrique (180 000 ans) a bénéficié de ces techniques virtuelles pour son étude morphométrique (Herskovitz *et al.* 2018).

Le domaine d'application de ces techniques s'est étendu au-delà des problématiques paléanthropologiques. Ainsi, des reconstructions ont pu être proposées dans des cas relevant



de l'Anthropologie forensique ou de la paléo-traumatologie (Benazzi *et al.* 2009a et 2009b ; Coqueugniot *et al.* 2013 ; Coutinho Nogueira *et al.* 2019a) ou bien encore de la chirurgie maxillo-faciale (Benazzi *et al.* 2011 ; Benazzi et Senck, 2011).

La plupart de ces études concernent des restes crâniens, dans de plus rares cas des exemples de reconstruction d'éléments infracrâniens sont à souligner comme la reconstruction du bassin de Regourdou 1 (Meyer *et al.* 2011) ou bien encore celle de la cage thoracique de Kebara 2 (Gomez-Olivencia *et al.* 2018).

La plupart des reconstructions virtuelles de fossiles se basent sur des données acquises grâce à des scanners CT ou des micro-scanners CT. Cependant, il n'est pas toujours possible, pour des raisons de conservation, de déplacer certains fossiles pour ce type d'acquisition. C'est le cas notamment pour l'individu L2A de la grotte de Cussac, qui ne peut être retiré de son lieu de dépôt en raison du statut de patrimoine national dont bénéficie le site. Un relevé photogrammétrique a été réalisé, les parties inaccessibles et en contact avec le sédiment ont été reconstruites virtuellement (Guyomarc'h *et al.* 2017). Pour des raisons pratiques et de temps de mise en œuvre, les acquisitions par lasergrammétrie sont en général préférées pour ce type d'étude mais la photogrammétrie bénéficie d'une grande précision et permet de conserver la texture (Urda et Urbanová, 2016).

En ce qui concerne le Proche-Orient, seuls 4 individus ont pu récemment bénéficier des avancées en imagerie tridimensionnelle. Deux de ces études concernent les individus Qafzeh 9 (Kondo *et al.* 2014) et Qafzeh 11 (Coqueugniot *et al.* 2014). Cette dernière a, en particulier, révélé l'existence d'un traumatisme crânio-cérébral qui n'avait pas pu être détecté grâce à des techniques conventionnelles (examen morphoscopique et radiographie). Cependant ces deux études n'ont pas proposé de restauration des individus mais une étude approfondie de l'endocrâne grâce aux outils tridimensionnels. Des restaurations virtuelles ont été effectuées sur la mandibule de Qafzeh 25 (Schuh *et al.* 2017) et sur le bloc crânio-facial d'Amud 1 (Amano *et al.* 2015).

### 3.2. Reconstructions/restaurations virtuelles<sup>2</sup>

Deux grands groupes de techniques de restauration virtuelle sont généralement utilisées en Paléanthropologie : les restaurations par symétrie et les restaurations basées sur un échantillon de référence. En raison de l'absence d'échantillon de référence de la même période chronologique et présentant des similitudes morphométriques avec les fossiles de Qafzeh, les reconstructions basées sur les principes de la symétrie ont été privilégiées dans nos recherches.

#### Les reconstructions par symétrie

En cas de fragmentation, de manques osseux et de déformations, des techniques de reconstructions basées sur le principe de symétrie peuvent être appliquées (Gunz *et al.* 2009). Ces techniques présupposent que les fossiles et régions anatomiques étudiées présentent une symétrie bilatérale parfaite (Zollikofer *et al.* 2005). Deux principales techniques peuvent être employées :

- 1) Mirror imaging (« réflexion à travers un axe de symétrie »)
- 2) Reflecting Relabelling (« réflexion par ré-échantillonnage »)

#### *Mirror Imaging*

Il s'agit de la technique la plus simple et la plus utilisée jusqu'à présent pour la reconstruction de parties manquantes. Les lacunes osseuses sont reconstruites grâce au symétrique des parties conservées, créant ainsi une « image miroir » (Gunz *et al.* 2009). Cette technique présuppose que le symétrique d'une région anatomique est ce qui se rapproche le plus morphologiquement de la région manquante (Zollikofer *et al.* 1998).

Gunz et collaborateurs (2009) recommandent la création de l'axe de symétrie à travers une estimation mathématique (méthode des moindres carrés). En effet, les points craniométriques situés sur la région sagittale n'étant pas tous alignés, une correction mathématique pour estimer le plan médian peut s'avérer nécessaire.

---

<sup>2</sup> Dans la plupart des études utilisant des techniques 3D pour la correction des atteintes taphonomiques, le terme de reconstruction virtuelle est employé, il s'agit en effet du terme utilisé dans la publication de référence de Gunz *et al.* (2009). Cependant et en raison des confusions possibles avec d'autres étapes de la chaîne opératoire virtuelle (notamment le passage d'une série d'image binaire 2D à un objet virtuel 3D), nous préférons le terme de restauration. Ce terme n'est pas parfait, en effet, si la correction des déformations est comprise dans une restauration, elle n'inclut pas la création des parties manquantes.

Parmi les fossiles ayant bénéficié de cette technique de reconstruction, nous pouvons citer en exemple Nankin 1 (Violet *et al.* 2010), Le Moustier 2 (Gunz *et al.* 2011) ou plus récemment Djebel Irhoud 10 (Figure 16, Hublin *et al.* 2018).

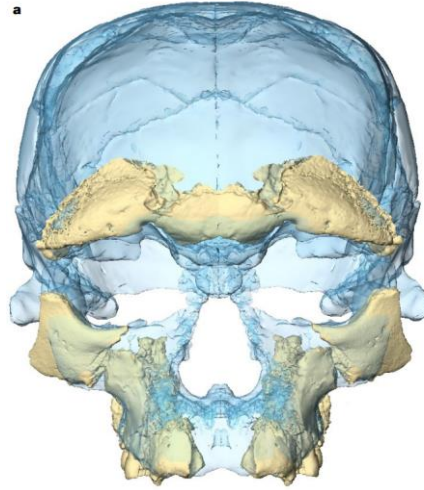


Figure 16: reconstruction par mirror imaging de Djebel Irhoud 10 (Hublin *et al.* 2018)

#### *Reflected relabeling (RR)*

Le reflected relabeling se fonde également sur le principe de symétrie mais il diffère du *mirror imaging* dans la création de l'axe de symétrie. En effet, cette méthode nécessite de définir des points de repères uniques et des paires de points de repères bilatéraux (Mardia *et al.* 2000; Bookstein et Mardia 2003; Bookstein 2005). Les points bilatéraux peuvent ensuite être reflétés au travers de n'importe quel plan de symétrie puis leur positionnement est ajusté grâce à des calculs procrustes (Gunz *et al.* 2009). Cette technique est particulièrement utile dans le cas de déformations généralisées uniformes et pour des fossiles relativement complets (Weber et Bookstein 2011).

Parmi les fossiles ayant bénéficié de cette technique de rétrodéformation figurent : l'australopithèque Sterkfontein 5 (Figure 17 ; Gunz *et al.* 2009) ou l'homme de Florès LB1 (Baab *et al.* 2013).

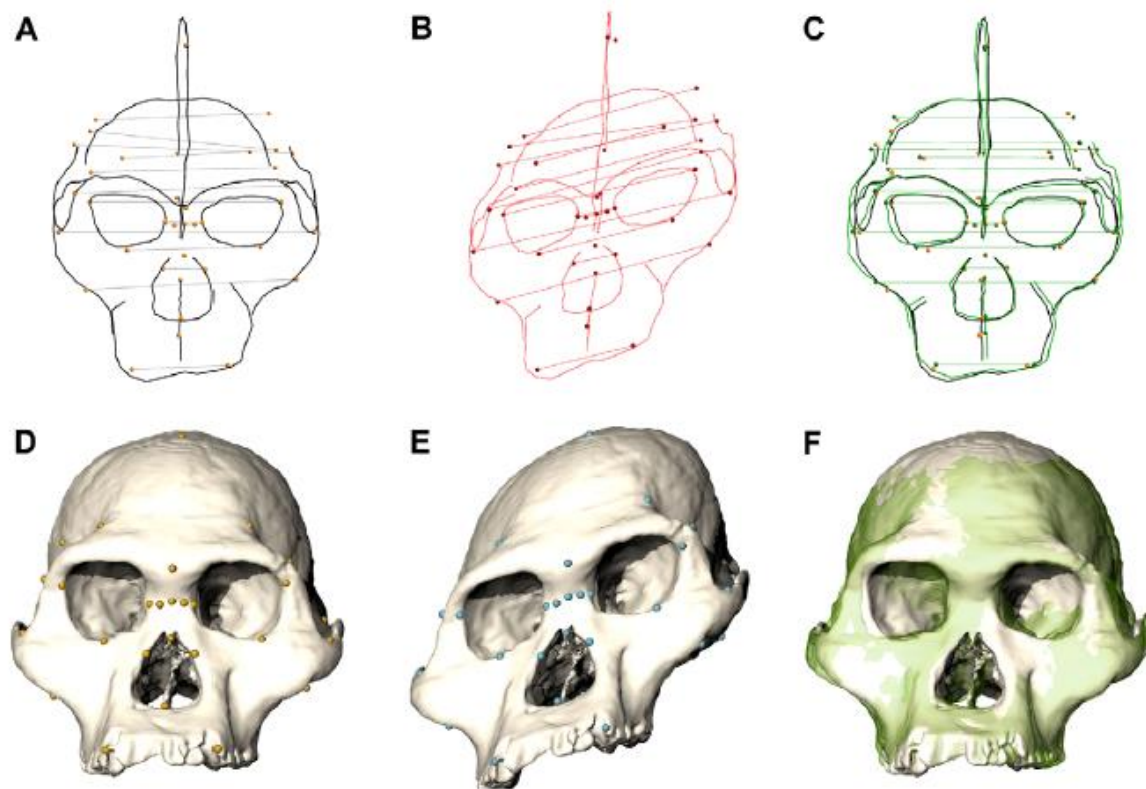


Figure 17: retrodéformation de Sts 5 grâce à la technique du Reflected Relabeling (Gunz et al. 2009)

Ces techniques ont été testées avec succès sur Qafzeh 6 et sur un soldat Napoléonien de la Campagne de Russie. Dans le premier cas, la restauration a été présentée par une communication affichée lors du 86<sup>ème</sup> colloque annuel de *l'American Association of Physical Anthropologists* à la Nouvelle-Orléans (USA) ainsi que par la publication d'un résumé dans le supplément de *l'American Journal of Physical Anthropology* en 2017.

La restauration de Qafzeh 6 a été présentée par une communication affichée lors du 86ème colloque annuel de l'American Association of Physical Anthropologists à la Nouvelle-Orléans (USA) ainsi que par la publication d'un résumé dans le supplément de l'American Journal of Physical Anthropology en 2017.

Référence : **Coutinho Nogueira D.**, Dutailly B., Comte F., Tillier A-m., Coqueugniot H., Virtual cranial restoration of Qafzeh 6 by new methodology using photogrammetry, *American Journal of Physical Anthropologists*, Vol 16, S64, pp.152-152

Statut: publié



# Virtual cranial restoration of Qafzeh 6 by new methodology using photogrammetry

DANY COUTINHO NOGUEIRA<sup>1,2</sup>, BRUNO DUTAILLY<sup>2</sup>, FLORENT COMTE<sup>3</sup>, ANNE-MARIE TILLIER<sup>2</sup> and HELENE COQUEUGNIOT<sup>1,2</sup>

1. Ecole Pratique des Hautes Etudes - PSL Research University - 2. UMR 5199 PACEA, CNRS - University of Bordeaux - 3. UMR 5607 Ausonius, CNRS - University Bordeaux Montaigne



## Introduction

- The state of conservation of the skeletal remains belonging to the human lineage does not always permit an extensive study of the morphological and metric characters.
- The progresses in acquisition and digital treatment of 3D images allow an essential restoration for the study of important fossils and thus increase our understanding of human evolution.
- Qafzeh fossils are particularly important for understanding the variability of the first modern humans. This new 3D approach applied to one of the specimen (Qafzeh 6) allows to complete and update the study of their cranial anatomy.



Fig.1 Map of Middle Paleolithic sites in the Levant



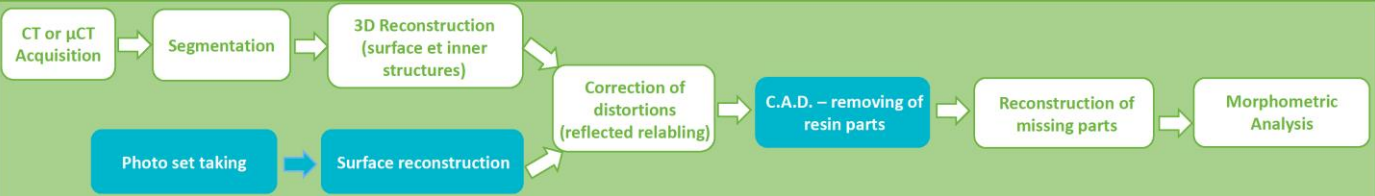
Fig.2 Qafzeh Cave entrance in Mount Precipice

## Material

- The Qafzeh Cave, located 2,5 km from the city of Nazareth in Israel (fig.1 and 2), was discovered in 1933. Numerous seasons of excavations lead to the discovery of 28 individuals dated 92 +/- 5 ka BP [1,2,3].
- Qafzeh 6 was exhumed during the first excavations conducted in 1934 by R. Neuville and M. Stekelis and, since its discovery, housed in the osteological collections of the *Institut de Paléontologie Humaine* (IPH) in Paris.
- This male adult specimen consists of a skull with missing/deformed parts preventing any complete analysis

## Methods

- The conservation rules applied by the IPH did not allow to CT-scan the skull, to overcome this obstacle, the traditional methodology of virtual restoration was adapted for a photogrammetric acquisition. A set of more than 400 photographs of Qafzeh 6 was collected and a 3D model was created.
- As Qafzeh 6 distortions are generalized and uniform, their corrections have been performed based on the principle of symmetry (reflected relabelling) [4]. We applied the correcting procedure of distortions before to virtually remove the resin parts (physical reconstruction) which allows a more efficient propagation of the correction process between the adjacent fragments



## Methodological adaptation



Fig.3 Qafzeh 6 maxillary taken with different angles for the photogrammetry ©F. Comte



Fig.4 3D model of Qafzeh 6 obtained by Photogrammetry

## Results

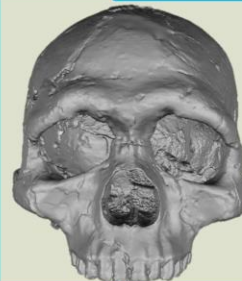


Fig.6 reconstruction of Qafzeh 6 cranium

- A new functional operating chain for the restoration of fossils using photogrammetry.
- A 3D reconstruction of Qafzeh 6 skull which allows us :
  - to go further in details about the metrics of this specimen (facial measurements, maximal length and width...)
  - to replace Qafzeh 6 into the adult morphometrical variability of Middle Palaeolithic Levantine hominins.

## Discussion and Conclusion

- Photogrammetry allows the acquisition of very precise 3D data [5] implying bone texture preservation. Furthermore, besides protecting the fossils from any manipulation and damage, this approach is less expensive than X-ray imaging methods.
- Resin parts were removed afterwards by Computer Assisted Design (CAD), which is a less time-consuming procedure than segmentation
- The Qafzeh 6 reconstructed skull can now be helpful for restoring other individuals from the same site, Qafzeh 9 and 25.
- A further step of this research would be a comparison with other early modern humans from Skhul and Manot Caves [6, 7] in order to discuss population affinities.

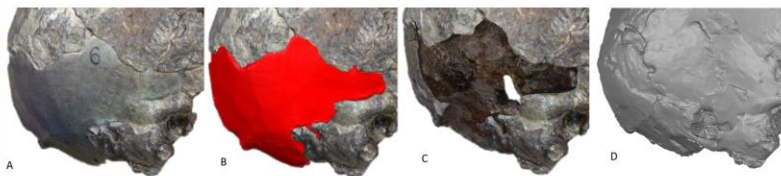


Fig.5 A. Qafzeh specimen with resin reconstruction, B. identification of the resin, C. retirement of the resin, D. virtual reconstruction

### Acknowledgement

We are very grateful to the professor H. de Lumley (IPH) for the access to the fossil Qafzeh 6 and A. Violet and S. Grosset-Picazo for their reception at the IPH. This study was supported by the Irene Levi-Strauss Archaeological Foundation. This paper has been granted by the VIRTOS Project - Regional Council of Aquitaine



### References

- [1] Goren, M. (1985) Les hommes fossiles de Qafzeh (Israël). Cahiers de Paléanthropologie, Paris: Editions du CNRS, 332 p.
- [2] Tillier, A.M. (2012) New Middle Palaeolithic hominid dental remains from Qafzeh (Israel). *Paléorient*, 38, 13-24.
- [3] Schick, K., Dauterle, B., Costelloe, R., Sankar, C., Aronburg, B., Vandermeersch, B., Coquerelle, H., Tillier, A.M. (2017) La mandibule de l'adulte Qafzeh 25 (Paléolithique moyen, Basses Gâtines). Reconstitution virtuelle 3D et analyse morphométrique. *Paléorient* (in press)
- [4] Comte, F., Mitterrand, F., Neuhart, S., Welles, C.W., Bookstein, F.L. (2008) Principles for the virtual reconstruction of hominid crania. *J. Hum. Evol.* 55: 48-62
- [5] Ouda, M. and Uthmaniy, D. (2016) Three-dimensional documentation of Dubai Mammalian skeletal remains: can photogrammetry substitute laser scanning? *Anthropologie (Paris)* 54: 2, 109-118
- [6] McPherson, E.L. and Kohn, A. (1978) *The Stone Age of Mount Carmel*. Cambridge Press, United Kingdom, 413 p.
- [7] Harvati, E., Mader, D., Apollon, A., Bar, M., Matthews, M., Yon, G., Bonnet, L., Caraculacu, V., Alex, B., Flourens, A., Gabor, G., Gabor, M., Gabor, F., Hellmayer, H., Lattin, R., Lutz, R., Matthews, A., Stan, V., Mayer, S.B., Berna, F., Bar-Oz, G., Wehrman, E., May, H., Hama, M.S., Walker, G.W., Barzilai, O. (2015) Unsettled questions from Manot Cave (Israel): Neolithization of the first European modern humans. *Nature* 525: 216-219



## **Abstract**

Some fossils, crucial for the understanding of human evolution, are too fragmented or distorted to achieve a comprehensive study of their morphological characteristics. Among these fossils, specimens from Qafzeh Cave in Lower Galilee (Israel), dated to 92 +/- 5 ka BP, are of special interest as they are viewed as being essentially early non-African modern human in skeletal anatomy. They represent a key-group in the knowledge of modern human dispersal with regard to their pivotal geographical location.

The adult Qafzeh 6 skull, which is the most complete, is affected by two distortions as shown by its available physical reconstruction. In order to correct the distorted bones and re-integrate these “corrected” data into the Levantine corpus, we planned a virtual cranial restoration on Qafzeh 6.

CT- or  $\mu$ CT-scans are the common method used in data acquisition for 3D restoration. However, due to strict conservation rules, Qafzeh 6 could not be moved outside its preservation room. Therefore, it was scanned on site, using the photogrammetric method. The acquired data present the advantages to provide both 3D meshes and bone texture. As these digital data are limited to surface acquisition, we have had to develop a specific methodology.

The virtual cranial restoration of Qafzeh 6 skull appeared to us being successful, as it allows us to answer now some issues raised since these fossils discoveries.

Virtual restoration using photogrammetric data is less expensive and less time consuming than classical methods using X-rays. Its use offers promising insights in virtual paleoanthropology.

This study was supported by the Irene Levi Sala Care Archaeological Foundation

La méthodologie de restauration virtuelle a été validée sur un crâne historique appartenant à un soldat napoléonien de la campagne de Russie. Les méthodes appliquées pour cet individu (*mirror imaging* et ostéotomie virtuelles) sont celles appliquées pour la restauration de Qafzeh 6 et Qafzeh 9.

L'étude a été publiée sous forme d'un article dans l'*International Journal of Osteoarchaeology* en 2019.

**Référence :** Coutinho Nogueira D, Dutailly B, Comte F, Vasil'iev A, Khokhlov A, Shvedchikova T, Berezina N, Buzhilova A, Dutour O, Coqueugniot H, (2019) "Gueule cassée" (facial injuries) : a 3D paleotraumatology study and facial approximation of a Napoleonic soldier who died in 1812 at Königsberg during the Russian Campaign. *International Journal of Osteoarchaeology*, Vol 29, Issue 2, pp.191-197

Statut : publié





[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

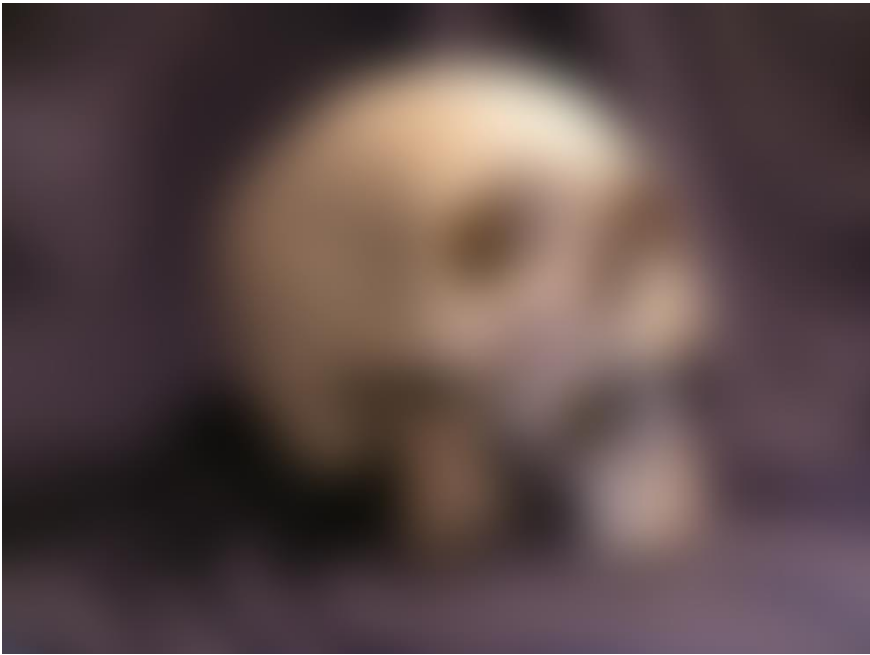
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

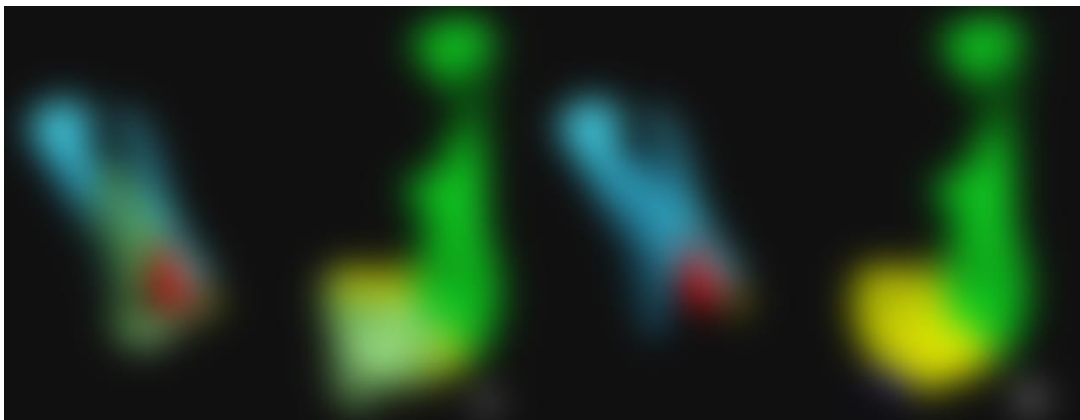
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

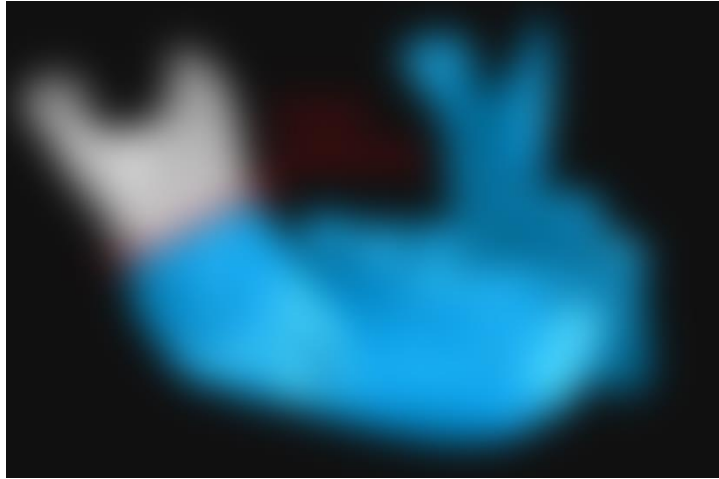
[Redacted]

[Redacted text block 1]

[Redacted text block 2]

[Redacted text block 3]

[Redacted text block 4]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

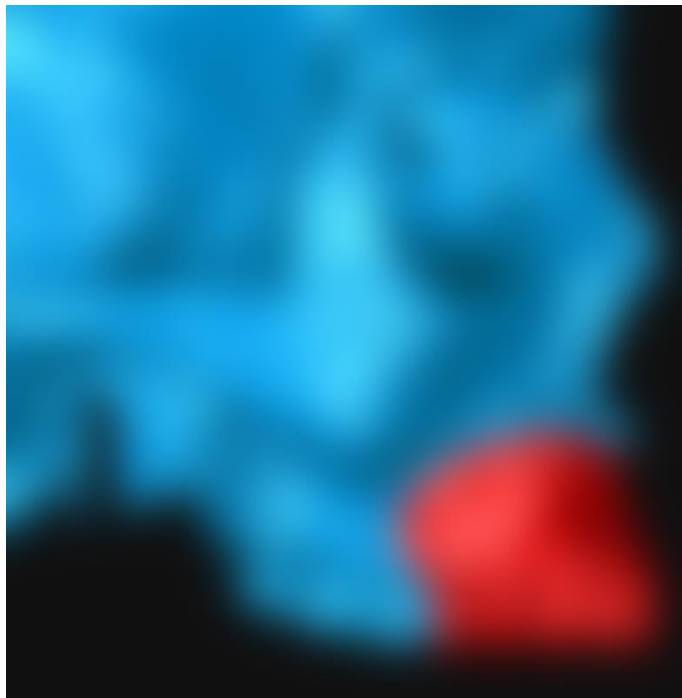
[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]



[Redacted text line]



[Redacted]

[Redacted]



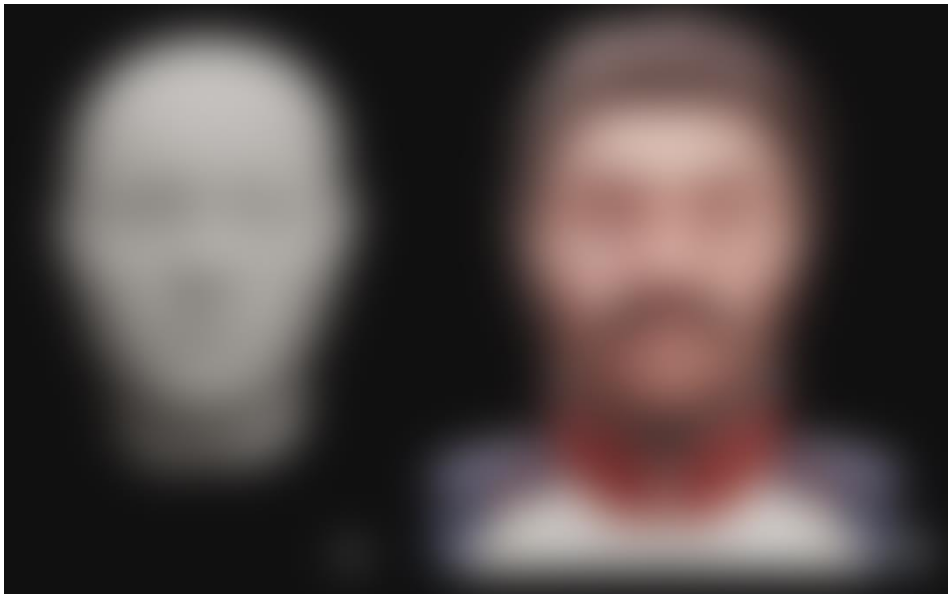
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

---

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text block 1]

[Redacted text block 2]

[Redacted text block 3]

[Redacted text block 4]

[Redacted text block 5]

[Redacted text block 6]

[Redacted text block 7]

[Redacted text block 8]

[Redacted text block 9]

[Redacted text block 10]

[Redacted text block 11]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]



Ces deux travaux sur Qafzeh 6 et sur le soldat napoléonien ont permis de mettre en place et de tester la chaîne opératoire de restauration virtuelle suivante (Figure 18) :

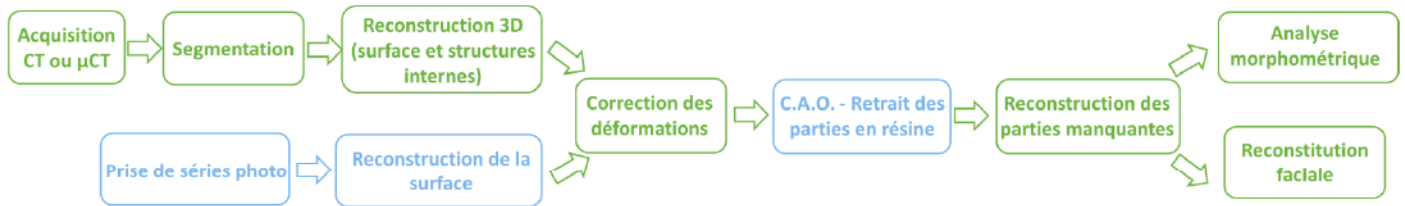


Figure 18: chaîne opératoire de restauration virtuelle. Les parties en bleues sont propres aux acquisitions photogrammétriques ou lasergrammétriques

La segmentation est la création de modèles 3D (maillage) et est réalisée avec le logiciel (TIVMI® (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging), développé au sein du laboratoire PACEA (Dutailly *et al.* 2009). Ce logiciel permet également de réaliser les différentes mesures sur les modèles 3D. La manipulation des maillages et des fragments est effectuée sous le logiciel Geomagic®. Ce logiciel permet de replacer les fragments mais également d'effectuer des symétries (*mirror imaging*). Enfin, le *reflected relabeling* est réalisé avec le logiciel MeshTools® en utilisant l'algorithme TPS (Thin Plate splines). Ce logiciel a été développé par R. Lebrun, S. Schlager, J. Dumoncel et C. Peladan.

## V. Résultats

### 1. Qafzeh 25, état de conservation et observations morphologiques

Le crâne a subi comme le reste du squelette de très nombreuses altérations *post mortem*. Selon la classification de Weber and Bookstein (2011), nous pouvons citer :

- une fragmentation (type 1) notamment de la base, de la partie postérieure du crâne et de la partie droite de la face ;
- des pertes osseuses (type 2) au niveau de la région bregmatique, de l'os zygomatique droit et de la base ;
- des déformations (type 3) sur l'ensemble du crâne ;
- et un important encroûtement (type 4) en grande partie retiré en laboratoire.

Ces altérations ont jusqu'à présent limité l'étude du fossile, la prise de mesure et la description des caractères morphologiques principalement en raison de la fragmentation et de la déformation. L'importante compaction de la tête osseuse ainsi que la présence de sédiment qui scelle les éléments osseux entre eux, rend toute tentative de reconstitution physique très risquée pour l'intégrité du fossile. Seul le développement de nouvelles techniques d'imagerie médicale permet d'envisager la réalisation de reconstructions 3D, déjà appliquées avec succès sur la mandibule (Schuh *et al.* 2017).

Les types d'altérations taphonomiques 1 et 3 résultent principalement d'une compression bilatérale complète. La mise à plat du crâne a provoqué de nombreuses fragmentations notamment le long des principales sutures crâniennes (sagittale et lambdoïde). Le côté droit de la face et la base du crâne sont également particulièrement affectés. Cette dernière est extrêmement fragmentée et repliée dans le volume endocrânien. Les parties latérales sont bien représentées mais sont complètement aplaties. Les convexités, concavités, angles et distances ne sont pas conservés sur le fossile. De plus, la mise à plat a effacé de nombreux reliefs et les fracturations ont dans la majorité des cas fait disparaître les sutures crâniennes. En dépit de ces nombreuses altérations, le crâne de Qafzeh 25 se situe parmi les plus complets. Il conserve, en effet, plus d'éléments osseux que Qafzeh 6 et 9, notamment une partie de la base du crâne, presque totalement absente sur les autres fossiles.

Les principaux manques osseux se situent au niveau de la face droite et de la région bregmatique mais leur aspect (couleur blanchâtre, bords non émoussés) nous indique que la perte s'est produite alors que l'os était à l'état sec. Ces observations sont confirmées par les photographies

prises juste après la découverte du fossile ainsi que par les moulages qui conservent les deux régions anatomiques. La partie postérieure de la base est absente et semble avoir été affectée par une coupe nette au niveau de l'éminence mastoïde. Cette coupe prend la couleur sombre du sédiment. En ce qui concerne la face, la partie droite est particulièrement affectée par les processus taphonomiques. La plupart des éléments osseux qui la compose semblent être présents (à l'exception donc de l'os zygomatique et du processus zygomatique de l'os temporal) mais ils sont très déformés et fragmentés. Au niveau de l'os sphénoïde gauche, un important enfoncement de l'os est visible. Le volume endocrânien n'est pas conservé et l'espace est occupé par du sédiment. Ce dernier présente une couleur sombre (gris foncé) avec des inclusions de quartz plus clair. Le volume de sédiment étant relativement faible, l'écrasement du crâne est survenu certainement très rapidement après l'enfouissement. La surface osseuse présente de nombreuses écaillures superficielles sur l'ensemble du crâne, probablement dues au dégagement du fossile de la gangue calcaire en utilisant une micro sableuse. De l'os trabéculaire est visible au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire droite, il pourrait s'agir du processus condyloïde, absent sur la mandibule (Schuh *et al.* 2017).

### ***Vue supérieure***

Le crâne est très compacté et très étroit, les parties latérales étant très proches l'une de l'autre sans pour autant être en contact (épaisseur du crâne au centre des deux grandes plages latérales comprise entre 50 et 60mm). Le crâne prend la forme globale d'un grand « S », la partie antérieure étant légèrement déviée vers la droite et la partie postérieure vers la gauche. L'arrière du crâne semble s'arrondir très rapidement sans grande variation dans sa convexité, ce qui laisse supposer l'absence de chignon occipital. Le prognathisme sous alvéolaire ne semble pas très important mais le maxillaire est très déformé et compacté, un effet de paroi peut aussi être responsable de cette faible projection. Il est difficile d'évaluer la longueur réelle du crâne, celle-ci étant allongée artificiellement par la rotation de la face vers le côté gauche qui projette en avant la partie médiane de la face. De plus, la partie postérieure est également projetée vers l'arrière.

Les sutures crâniennes sagittale, coronale et lambdoïde ne sont pas complètement observables en raison des fracturations. La plupart des lignes de fractures suivent le parcours de sutures. Il n'est donc pas possible de décrire leur état de fusion ou leur complexité.

### ***Vue latérale droite***

Des deux vues latérales, la droite est la plus déformée et fragmentée notamment dans sa partie antérieure. Elle conserve néanmoins une grande région en son centre relativement peu fragmentée mais aplatie. Dans sa partie centrale, elle est traversée par deux lignes de fractures partant de la partie supéro-postérieure vers la partie antéro-inférieure. La région du méat auditif externe n'est pas conservée. Dans sa partie postérieure, la moitié latérale droite de l'os occipital est présente. La ligne de fracturation passant, dans la partie supérieure, par la suture lambdoïde gauche, puis dans la partie plus inférieure, rentre dans la partie squameuse de l'os. Un os surnuméraire semble présent juste sous le lambda. La partie antérieure est également en grande partie absente dans cette vue, seul le tiers latéral droit de la face est observable. Il s'agit de la région se situant latéralement par rapport à une ligne passant par le bregma, le milieu de l'orbite droite et entre la 1<sup>ère</sup> molaire et la 2<sup>ème</sup> prémolaire. L'os zygomatique droit est absent, le processus alvéolaire droit du maxillaire a subi une rotation horaire. Cette rotation provoque l'élévation des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> molaires et la projection vers l'avant du processus frontal du maxillaire (non conservé). Par ailleurs, la 3<sup>ème</sup> molaire est également « enfoncée » dans l'os alvéolaire. Cette dent semble peu usée, une facette est présente sur la partie linguale du protocône (cuspidé mésio-linguale). Dans la partie supérieure, au centre de cette vue, nous pouvons noter la présence de fractures rayonnant depuis une petite zone avec une coloration plus sombre. Cette zone semble être la région de la bosse pariétale. De même, un léger enfoncement de l'os en forme de losange est visible dans la partie antérieure, à mi-hauteur de cette face (L : 59.22 mm ; l : 29.37 mm).

### ***Vue latérale gauche***

Il s'agit de la vue la plus complète, elle conserve tous les éléments (à l'exception de la région autour du bregma), et la moins fragmentée. Elle présente également la majeure partie de la face gauche. Elle a surtout subi une mise à plat de l'ensemble des os. Nous pouvons toutefois noter un enfoncement plus important au niveau de l'os sphénoïde (taille: longueur max : 29 mm ; largeur max : 22 mm ; profondeur : 22 mm).

Parmi les nombreux fragments osseux se trouvant dans cette région, il pourrait y avoir des fragments appartenant à la branche de la mandibule (processus condyalaire, coronoïde), leur identification étant rendu difficile par la présence d'encroûtement calcaire. Notons la présence dans la partie supérieure et postérieure de l'os pariétal, d'un léger enfoncement de l'os ( $\approx 4$  mm) avec la présence de lignes de fracture rayonnant tout autour. La partie antérieure de cet

enfouissement est plus basse, et semble passer légèrement sous le côté postérieur. Cette région pourrait correspondre à la bosse pariétale et être l'équivalent de ce qui est observé sur la face droite. Nous pouvons ainsi supposer que la pression maximale des sédiments a pu s'exercer sur la partie postérieure du crâne. La force principale semble avoir eu une direction latérale mais également légèrement antéro-postérieure, ce qui explique le déversement de la face sur la partie gauche du crâne. Un effet de paroi sur l'os occipital a pu empêcher le déversement complet de ce dernier sur la partie droite. Une fracture est également visible dans la partie inférieure de cette vue, juste au-dessus de l'éminence mastoïde. Son orientation suit le plan transverse. Le méat auditif externe est déformé et le processus zygomatique de l'os temporal l'obture en partie. La partie postérieure, au niveau de l'os occipital semble très rectiligne, cela pourrait être dû à un effet de paroi. Dans la partie antérieure, on observe une rotation horaire de l'os maxillaire au niveau des incisives, correspondant à la rotation visible sur la face droite. Cette rotation projette en avant le processus alvéolaire et rend difficile l'évaluation du prognathisme facial de cet individu.

### *Vue frontale et face*

La face est en grande partie déportée sur le côté gauche. En termes de représentation, la face de Qafzeh 25 est la plus complète de la série. L'ensemble des éléments osseux est présent sur le côté gauche avec une mise à plat. Le côté droit semble également très complet mais la « pliure » passe de ce côté du crâne, ce qui affecte considérablement son état. Les descriptions concernent donc principalement le côté gauche de la face. Les éléments osseux constituant le bord orbitaire sont présents, néanmoins les processus taphonomiques ont affecté la forme générale de l'orbite. Ainsi, la mise à plat de l'os zygomatique, du maxillaire et du relief sus-orbitaire dans sa partie latérale, confère au bord orbitaire une forme rectangulaire, avec des bords très rectilignes et des angles presque droits. La bosse frontale reste néanmoins bien visible. Entre le relief sus orbitaire et la bosse frontale se trouve une légère dépression que l'on peut suivre de la glabelle jusqu'à la ligne temporale. Entre cette dernière et la bosse frontale, nous pouvons également distinguer un méplat (pas de fusion tabulaire observée sur les coupes CT comme c'est le cas sur Qafzeh 9). Les os nasaux sont conservés mais très fragmentés et déformés, l'os gauche étant le plus complet. L'épine nasale antérieure est absente mais la cassure, de couleur claire, semble relativement récente. L'ouverture nasale n'est que partiellement conservée, seuls les bords latéral gauche et inférieur sont parfaitement observables. Le bord latéral droit pourrait être présent mais la compaction avec le reste des éléments osseux du côté droit rend son identification à l'œil nu très difficile. La face présente plusieurs lacunes osseuses. Les plus

importantes se situent au niveau de l'os maxillaire gauche, deux lacunes circulaires se trouvent juste sous le bord orbitaire. Leurs localisations pourraient faire penser à des forams infra-orbitaires (accessoires) que les processus taphonomiques auraient élargis (tailles : antéro-médial : 4.36/4.5mm ; centrale : 7.15/6.22mm). Une troisième lacune se situe au-dessus des prémolaires et de la première molaire et prend la forme d'un sillon avec dans sa partie plus latérale, un orifice plus profond (Longueur : 17.81mm). Au-dessus du relief sus-orbitaire au niveau de l'incisure se trouve également une petite lacune de forme ovale. Plus latéralement des atteintes superficielles sont également visibles. Une perte de matière osseuse est également visible dans la partie latérale du relief sus-orbitaire (taille : 4.09/4.35mm). D'autres pertes osseuses plus superficielles sont visibles latéralement. De plus, cette zone prend une coloration beaucoup plus sombre et brillante que le reste du crâne, cette coloration se retrouve de façon plus discrète sur le bord inférieur de l'orbite et dans une moindre mesure sur la partie antérieure du maxillaire, à proximité des incisives. L'aspect brillant exclut qu'il puisse s'agir de traces de combustion. Il s'agit plus certainement de concrétions calcaires pouvant être liées à un séjour à l'air libre d'une partie du crâne à un moment (Vanghi *et al.* 2017). La partie droite de la face est partiellement manquante. Il s'agit principalement du zygomatique droit et des processus frontal et zygomatique du maxillaire. La partie supérieure (frontal) est très déformée et fragmentée mais semble complète.

### ***Vue postérieure***

Elle est très étroite en raison de la compaction du crâne, elle forme globalement un triangle avec la base au niveau de la partie inférieure. Sa largeur à la base est de 57.4mm. La région inférieure gauche se déverse antérieurement sur la face latérale gauche. Deux types de fractures sont visibles. Des fractures de couleurs claires sont présentes dans la partie postérieure, leur aspect est typique d'atteintes *post-mortem* ayant pu être causées lors des fouilles ou en laboratoire. Dans la partie antérieure, nous notons des fractures de même coloration que l'os, elles sont d'origine *post-mortem* également mais anciennes. Les fragments sont nombreux mais ils sont de taille relativement importante en comparaison avec les autres régions fragmentées. On note la présence probable d'un os suturaire lambdoïde du côté droit.

### ***Vue inférieure et base du crâne***

Là encore, le crâne est très étroit. De nombreux éléments osseux sont conservés, mais des lacunes s'observent dans la partie postérieure au niveau de l'os occipital (parties latérales). Alors qu'en vue supérieure le crâne prend la forme d'un « S », en vue inférieure il prend la

forme d'un arc de cercle. Dans la région centrale, la compaction des os rend leur identification très difficile. Néanmoins, semblent conservés de nombreux éléments osseux, tels que les parties pétreuses des temporaux. L'analyse des coupes CT révèle qu'une grande partie des os de la base se trouve compactée dans le volume endocrânien. Dans la partie antérieure, le palais osseux semble relativement complet avec la présence de l'épine nasale postérieure. Le palais osseux est comme le reste de la base très compacté et déformé, la partie antérieure est déjetée sur la gauche. Les dents du côté droit sont avancées antérieurement et « penchent » vers la région médiane. Le processus palatin du maxillaire s'élève dans la cavité nasale en raison de l'écrasement. Du sédiment est présent dans la partie antérieure entre la 3<sup>ème</sup> molaire droite et les prémolaires gauches.

### ***Observations morphoscopiques et variations anatomiques***

L'os frontal présente quelques variations anatomiques. Nous pouvons noter la présence de l'incisure supra-orbitaire, le relief sus-orbitaire est divisé en deux au niveau de l'incisure. Un méplat est présent latéralement à proximité de la ligne temporale supérieure. Contrairement à Qafzeh 9, il n'est pas possible de noter d'empreinte du pédicule sus-orbitaire. Les os pariétaux ne présentent pas de caractères discrets (aucun foramen pariétal, amincissement pariétal de la voûte ou os pariétal bipartite). Les lignes temporales sont visibles mais fortement aplaties, les bosses pariétales sont également distinguables mais aplaties et même fragmentées du côté gauche. Un foramen semble être présent au niveau de la suture entre l'os pariétal droit et l'occipital. Il pourrait cependant également s'agir d'une atteinte taphonomique. En ce qui concerne l'os occipital, il n'est pas possible d'observer les reliefs osseux de l'os (protubérance occipitale externe, crête occipitale et lignes nuchales), la région étant trop fragmentée ou aplatie. La partie basilaire est manquante. Un os surnuméraire au niveau du lambda semble présent mais la fragmentation rend difficile l'observation dans cette région de l'occipital. L'os temporal ne présente pas de variation anatomique visible. Seules les parties squameuse et tympanique sont réellement accessibles. Le processus mastoïde gauche est conservé mais semble avoir été atteint par une coupe nette d'origine taphonomique dans sa partie inférieure. Les osselets de l'oreille interne ne sont pas visibles sur les coupes CT. Cependant, nous ne pouvons pas exclure leur présence car la précision et la résolution des images, la présence de sédiment et la compression des structures rendent difficile toute observation dans cette région. Les grandes ailes de l'os spénoïde sont complètement écrasées à droite comme à gauche. La conformation au ptériorion semble toute de même être en H. Les jugums des canines sont très peu marqués sur l'os maxillaire (surtout à gauche) tout comme les fosses incisive et canine. On note la présence de

deux foramens infra-orbitaires sur le côté gauche de la face. La configuration externe de l'os maxillaire (concavité et convexité) ne peut être appréhendée. Les os nasaux sont présents et quasi-complets à gauche mais le côté droit est abimé par des atteintes taphonomiques. L'os zygomatic est présent et complet seulement à gauche, seul un fragment du processus frontal s'observe à droite. A gauche, le foramen zygomatiko-facial n'est pas visible. L'évaluation de la robustesse générale du crâne se fait principalement sur des observations et sur la description des caractères visibles sur le fossile car l'écrasement rend toute prise de mesure impossible.

Le crâne semble globalement robuste malgré l'atténuation de certaines structures par les processus taphonomiques. En comparaison avec les autres fossiles du site et ceux de Skhūl, Qafzeh 25 semble plus robuste que Qafzeh 6 et que Qafzeh 9, ce dernier étant le plus gracile des trois crânes, mais il reste moins robuste que Skhūl V. Malgré l'aplatissement, le développement du relief sus-orbitaire semble important, dépassant sans doute celui de Qafzeh 6 et 7. Les arcs orbitaires sont bien développés notamment dans la partie glabellaire. La division en deux arcs est cependant nette à gauche. La région mastoïde bien que partiellement conservée est également développée et volumineuse. L'épaisseur visible des os pariétaux semble faible. Les tables externe et interne sont relativement peu épaisses en comparaison avec le diploé. L'épaisseur de l'os pariétal est accessible au niveau de la fracture (région du bregma). La répartition de tissu semble différente de ce qui s'observe sur Qafzeh 9. Avec un développement du diploé plus important (épaisseur totale : 5.21 mm).

### ***Dentition maxillaire***

Globalement l'usure dentaire sur Qafzeh 25 est moins avancée que sur les adultes Qafzeh 6, 7 et 8, mais plus que sur Qafzeh 9. Les quatre incisives sont conservées et présentent toute une usure similaire, très plane (occlusion en bout à bout) laissant apparaître la dentine. L'usure semble être légèrement plus prononcée sur la partie linguale conférant au bord libre un aspect moins rectiligne que sur les incisives mandibulaires (stade 3 de Molnar). Les incisives centrales présentent une faible convexité de la face buccale, la face linguale n'est observable que sur l'incisive droite et elle est relativement plane. Les incisives latérales présentent également une faible convexité de la face buccale, en revanche la face linguale porte un tubercule à sa base, la partie centrale juste au-dessus du tubercule est occupée par une fovéa verticale donnant l'impression d'incisives en pelle.



## **Canines**

Seule la canine droite est conservée. Elle présente une usure plus marquée côté distal. Cette usure pourrait être en lien avec l'usure mésiale de la première prémolaire mandibulaire. Sa pointe est également émoussée, laissant apparaître la dentine. La face buccale présente une crête verticale peu développée partant de la pointe et séparant deux petites fovéas latérales.

## **Prémolaires**

Les prémolaires droites sont absentes, seul un fragment de racine dentaire de la P3 est visible. Les deux prémolaires gauches sont en revanche présentes. La P3 présente une rotation antérieure de sa couronne dentaire. La présence d'une facette d'usure sur sa face distale laisse penser que cette rotation n'est pas totalement due aux processus taphonomiques. Ceci semble être confirmé par la faible usure de ses cuspides ainsi que par l'usure de la cuspide linguale de la dent antagoniste, la P3 inférieure. Une légère usure de la cuspide jugale dans sa partie distale pourrait correspondre à l'usure du bord distal de la canine mandibulaire. Les images micro-CT montrent que l'orientation de la racine dentaire est « normale », elle n'est pas déplacée. Une cassure entre la racine et la couronne dentaire est visible, cette dernière ayant donc subi une rotation en raison de l'écrasement et des contraintes dues au poids des sédiments. La seconde prémolaire présente une usure des cuspides plus importante sans atteindre la dentine.

## **Molaires**

Les dents gauches sont plus usées que les droites. A gauche, l'usure ne semble pas présenter de différences entre les cuspides linguales et buccales, alors qu'à droite l'usure est plus marquée sur les cuspides linguales. Les données sur les dents maxillaires semblent confirmer les observations effectuées sur les dents mandibulaires. Cependant, la position de la M3 maxillaire droite ainsi que les degrés d'usure, nous amène à formuler une autre hypothèse quant aux raisons des usures particulières et de la position distale de la M3 mandibulaire : la M3 maxillaire n'est pas complètement en position occlusale.

Les premières molaires gauches (supérieures et inférieures) présentent une atteinte superficielle de l'émail au niveau de leur cuspide antéro-linguale. Les atteintes sont similaires sur les deux dents, elles consistent en une petite dépression sur la partie linguale de la cuspide. Un très petit renflement peut être vu sur la face occlusale de la molaire mandibulaire (la cuspide semble légèrement moins usée que les autres cuspides), qui ne semble pas être présent sur la dent supérieure. Les molaires possèdent 4 cuspides (M1 et M2) ou 5 (M3). L'éruption et l'usure

dentaire semblent confirmer les observations réalisées sur la mandibule (Schuh *et al.* 2017) quant à l'estimation de l'âge du sujet. Il s'agit donc d'un individu adulte (éruption de la M3 gauche complète) avec une usure dentaire relativement faible. L'état de fusion de sutures crâniennes n'est pas observable.

### Caractères métriques des dents

Les dents de Qafzeh 25 se caractérisent par des dimensions inférieures à la moyenne de Qafzeh pour les dents antérieures (incisives/canines) mais supérieures à la moyenne pour les dents postérieures dans le sens mésio-distal (

Tableau 4). Elles sont systématiquement inférieures à la moyenne pour le diamètre bucco-lingual. La séquence de taille décroissante est dans le sens mésio- distal : M1>M2>M3 à droite et dans le sens bucco-lingual : M2>M1>M3 à gauche.

	M3g	M2	M1	P4	P3	I2	I1	I1	I2	C	M1	M2	M3d
MD	9.54	10.59	11.45	7.39	8.35	7.25	9.19	>8.85	7.32	8.21	12.31	11.46	(9.55)
BL	11.51	12.12	11.55	10.10	10.43	7.15	-	7.41	>6.73	9.34	11.82	11.24	(8.80)

Tableau 4 : principales mesures des dents supérieures de Qafzeh 25

## 2. Qafzeh 25, étude du labyrinthe osseux

En raison de l'état de conservation générale du fossile et de la présence des deux os pétreux, l'étude morphométrique de l'oreille interne de Qafzeh 25 s'avère être l'analyse pouvant apporter le plus d'informations sur le spécimen. Cette analyse a fait l'objet de la rédaction d'un article en cours de révision auprès de la revue *Journal of Human Evolution*.

Article: Coutinho Nogueira D., Coqueugniot H., Santos F., Tillier A.-m., Qafzeh 25 bony labyrinth and its place within the Southwest Asian Middle Palaeolithic sample. *Journal of Human Evolution*.

Statut : soumis, en cours de révision.

Article

**Qafzeh 25 bony labyrinth and its place within the Southwest Asian  
Middle Palaeolithic sample**

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]

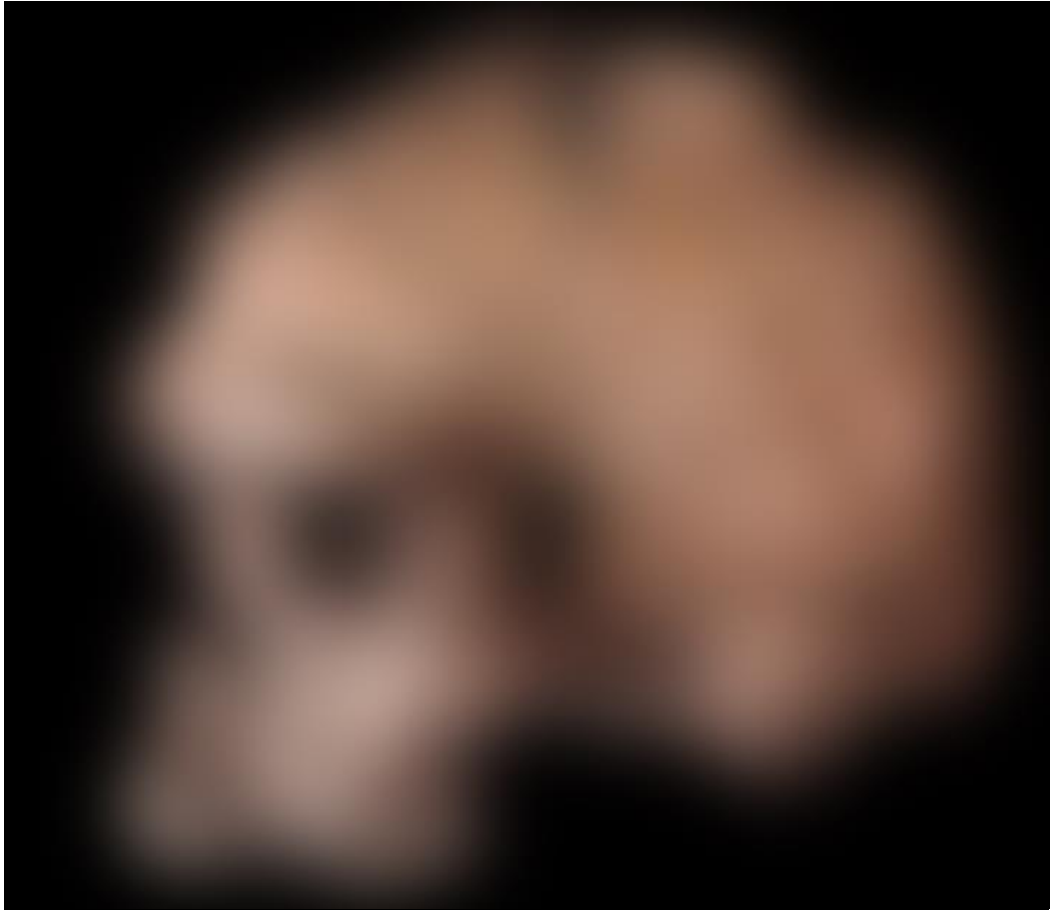
[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

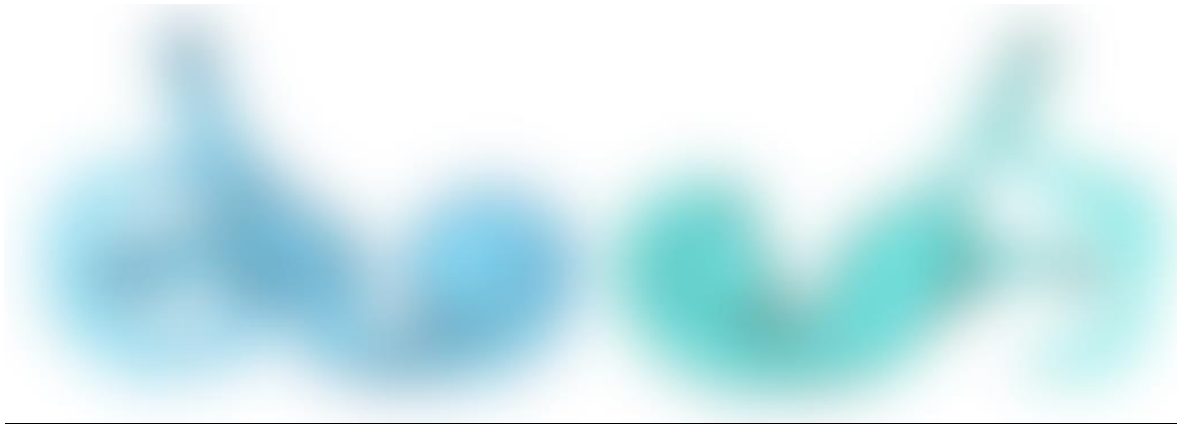
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



---

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

---

[REDACTED]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]


[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

### 3. Qafzeh 9, réévaluation de l'âge et du sexe

#### 3.1. Estimation de l'âge au décès

L'âge et le sexe de Qafzeh 9 sont sujets à discussions au sein de notre communauté scientifique, nous avons, nous avons donc réévalué ces paramètres grâce aux méthodes actuelles.

Les coupes CT (Figure 19) permettent de visualiser finement le développement des dents et notamment les stades les plus avancés concernant la fermeture de l'apex des racines. Les observations ont été effectuées sur le côté gauche de la mandibule et du maxillaire, l'os alvéolaire étant moins affecté par les processus taphonomiques. Les deux incisives, la première prémolaire et la première molaire mandibulaires ont terminé leur maturation, elles sont cotées Ac, selon les stades de cotation de Morrees *et al.* (1963). Deux dents mandibulaires, la canine et la deuxième prémolaire présentent des racines dont l'apex n'est pas complètement fermé, elles sont cotées A ½. Les racines de la deuxième et de la troisième molaire sont légèrement affectées par des atteintes taphonomiques, l'os alvéolaire sous-jacent n'étant plus présent, ces dents n'ont pas été prises en compte. L'apex des racines des deux prémolaires maxillaires où l'observation est possible sont complètement formés.

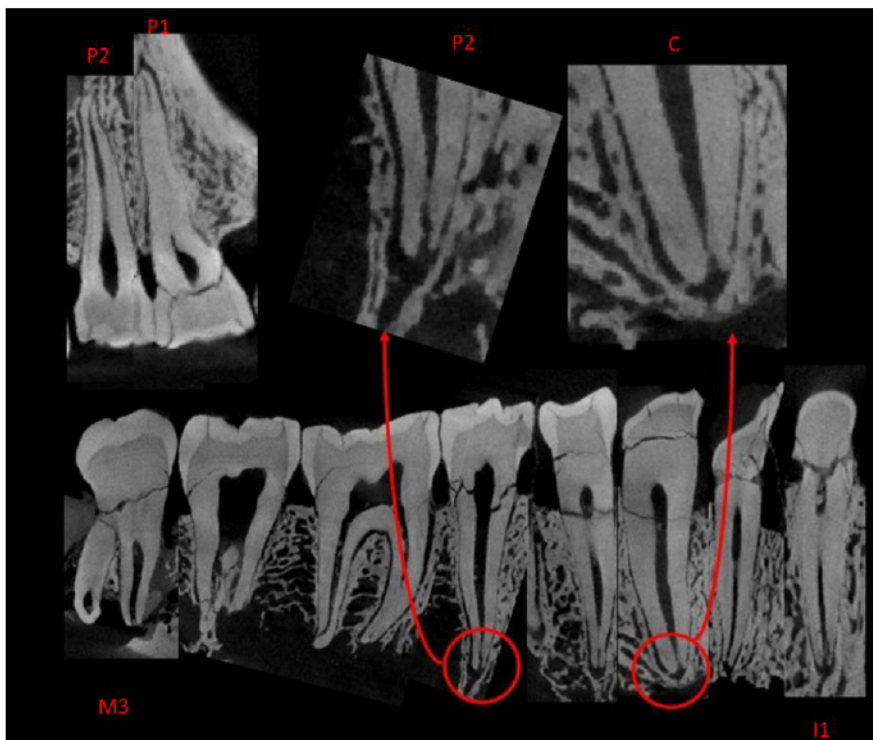


Figure 19 : montage à partir de plusieurs coupes CT montrant les racines dentaires de Qafzeh 9

L'observation sur la radiographie est plus difficile mais l'apex semble ouvert sur la canine (Figure 19).

La méthode de Moorrees *et al.* (1963) basée uniquement sur les dents mandibulaires donne une estimation large de l'âge au décès, comprise entre 8 et 15,5 ans, en combinant les deux sexes (8-14,5 pour un individu féminin et 9,5-15,5 pour individu masculin). En incluant les prémolaires supérieures avec les planches d'AlQahtani *et al.* (2010) l'estimation est réduite entre 13,5 à 14,5 ans.

La fusion osseuse au niveau des métacarpiens et des phalanges proximales n'est pas complète. D'après les observations de Birkner (1978), la maturation des mains intervient au plus tard à 14,5 ans pour les filles et 16,5 ans pour les garçons.

La cotation des fusions osseuses s'est faite en fonction de l'état de conservation des ossements. Les stades de fusion sont renseignés dans le

Tableau 5.

	<b>Right</b>	<b>Left</b>
<b>Os Coxae</b>		
Ilium-Pubis	EC	/
Upper Ischium-Pubis	/	/
Lower Ischium-Pubis	/	/
Iliac crest	EC	EC
Ischial Tuberosity	EC	EC
Anterior inferior iliac spine	/	TF
<b>Sacrum</b>		
Medial Sacral Segments 1_2	/	
Lateral Sacral Segments 1_2	/	/
Posterior Sacral Segments 1_2	/	/
Medial Sacral Segments 2_3	EC	
Lateral Sacral Segments 2_3	/	EC
Posterior Sacral Segments 2_3	/	/
Medial Sacral Segments 3_4	EC	
Lateral Sacral Segments 3_4	/	EC
Posterior Sacral Segments 3_4	/	/
Medial Sacral Segments 4_5	EC	
Lateral Sacral Segments 4_5	/	/

Posterior Sacral Segments 4_5	/	/
<b>Scapula-Clavicule</b>		
Coracoid	/	/
Acromion	/	/
Sternal End	NF	NF
<b>Upper Limb</b>		
Humerus Head	/	EC
Humerus Medial Epycondyle	/	TF
Humerus distal End	/	/
Radius Proximal End	/	/
Radial Distal End	EC	EC
Ulna Proximal End	/	.
Ulna Distal End	EC	EC
<b>Lower Limb</b>		
Femur Head	/	TF
Femur Greater Trochanter	/	EC
Femur Lesser Trochanter	/	EC
Femur Distal End	TF	/
Tibia Proximal End	/	TF
Tibia Distal End	/	TF
Fibula proximal End	/	/
Fibula Distal End	EC	/
Calcaneus Posterior End	EC	EC

NF : Non fused

F : Fusionning

TF : Totaly fused

/ : unobservable

*Tableau 5 : stade de fusion des os infracraniens de Qafzeh 9 reprenant les paramètres de Coqueugniot et Weaver (2007)*

Le package BAE (Coqueugniot et Weaver 2007) estime l'âge de Qafzeh 9 entre 18 et 21 avec une probabilité plus élevée pour 19 ans (0.557)

Le logiciel MACROS (Coqueugniot *et al.* 2018) estime, quant à lui, l'âge de Qafzeh 9 entre 18.5 et 20.34 ans (estimation : 19.4195 ; Mean Error : 1.843811; Pseudo R<sup>2</sup> : 0.8592267) à partir d'un échantillon de 211 individus.

Les résultats entre le package BAE et le logiciel MACROS sont donc similaires avec un âge estimé autour de 19 ans, la variation étant légèrement plus réduite avec MACROS.

### 3.2. Détermination du sexe

Pour l'estimation du sexe à partir des os coxaux et de la DSP2, les résultats incluant la variation inter-observateurs sont résumés dans le Tableau 6 :

Obs	Pum	Spu	Dcox	limt	lsmm	Scox	Ss	Sa	PF	PH	SEXE
Obs 1 original	62.80	28.00	201.00	33.33	101.15	155.00	78.41	78.82	0.001	0.999	Masculin
Obs 1 moulage	61.30	26.60	201.00	34.80	101.50	155.00	78.90	78.40	0.001	0.999	Masculin
Obs 2	62.40	26.90	194.00	28.10	99.20	153.00	65.40	76.50	0.016	0.984	Masculin
Obs 3	59.00	23.40	197.00	36.00	97.00	155.00	78.00	73.00	0.026	0.974	Masculin
Obs 4	58.80	26.50	194.00	26.90	101.20		78.90	80.10	0	1	Masculin
Obs 5	57.94	25.30	192.00	38.84	104.50		76.70	79.80	0.001	0.999	Masculin
max	62.80	28.00	201.00	36.00	104.50	155.00	78.90	80.10	0	1	Masculin
min	57.94	23.40	192.00	26.90	99.20	153.00	65.40	76.50	0.007	0.993	Masculin

*Tableau 6 : récapitulatif des mesures prises par 5 observateurs et probabilités individuelle pour Qafzeh 9 d'appartenir au sexe féminin ou masculin (Brůžek et al. 2017)*

Pour la totalité des observateurs, le résultat est masculin avec une probabilité supérieure à 95%. Le test avec les valeurs maximale et minimale de chaque variable fournit également un sexe masculin. L'ajout ou le retrait des variables Sis et Veac modifie quelque peu les probabilités des observateurs 2 et 3, en augmentant la probabilité d'un résultat masculin.

#### A partir des os du tarse postérieur

Sur les 24 équations discriminantes testés sur Qafzeh 9 portant sur les os du tarse postérieur, 18 ont donné un résultat masculin et 6 un résultat féminin soit 75% masculin et 25% féminin. Si l'on ne prend en compte que les équations multivariées qui présentent un taux de bonne détermination légèrement plus élevé en moyenne, 91,6% des équations fournissent un résultat masculin (Tableau 7).

Fonction discriminante	Résultat Qafzeh 9	Sexe estimé
CM1 x 0.216-17.003	-0.371	F
CM3 x 0.471-12.259	0.5522	M
CM5 x 0.263-14.977	-0.3542	F
CM9 x 0.465-13.755	1.125	M
CM10 x 0.681-14.669	1.8112	M
CM3 x 0.219 + CM9 x 0.238 + CM10 x 0.297 - 19.260 (stepwise)	1.5002	M
CM1 x 0.020 + CM3 x 0.210 + CM5 x 0.032 + CM9 x 0.199 + CM10 x 0.265 - 20.568	1.2442	M
CM1 x 0.040 + CM3 x 0.207 + CM9 x 0.209 + CM10 x 0.267 - 20.528	1.3318	M
CM1 x 0.065 + CM3 x 0.235 + CM9 x 0.242 - 18.511	0.63	M
CM5 x 0.057 + CM9 x 0.302 + CM10 x 0.327 - 19.206	1.5406	M
CM9 x 0.348 + CM10 x 0.358 - 18.014	1.7856	M
M1 x 0.390-20.567	-0.521	F
M2 x 0.430-17.491	2.59	M
M4 x 0.533-17.620	-0.1376	F
M6 x 1.103-9.276	1.754	M
M9 x 0.249-8.021	-0.0032	F
M12 x 0.540-16.753	0.419	M
M13 x 0.687-14.629	2.1338	M
M1 x 0.177 + M6 x 0.279 + M12 x 0.226 + M13 x 0.210 - 23.155 (stepwise)	0.8333	M
M1 x 0.205 + M12 x 0.226 + M13 x 0.201 - 22.138	0.4082	M
M4 x 0.212 + M12 x 0.246 + M13 x 0.279 - 20.569	1.0574	M
M1 x 0.245 + M12 x 0.289 - 21.939	-0.2538	F
M6 x 0.476 + M13 x 0.623 - 17.265	2.4582	M
M6 x 0.418 + M12 x 0.497 - 18.934	0.8416	M

*Tableau 7 : résultats des équations discriminantes d'Alonso-Llamazares et Pablos (2019) appliquées à Qafzeh 9. Les équations multivariées sont indiquées en bleues*

A partir de ces deux méthodes de détermination du sexe appliquées à Qafzeh 9, nous obtenons donc un résultat masculin.

#### **4. Qafzeh 9, étude paléopathologique de la mandibule**

L'étude paléopathologique de Qafzeh 9 a révélé plusieurs pathologies au niveau de la mandible qui ont fait l'objet d'une publication (ci-après). L'étude du crâne ne révèle pas de nouvelles pathologies mais plusieurs caractères inédits sur le fossile ont pu être notés et sont décrits en suivant.

Référence : Coutinho Nogueira D., Dutour O., Coqueugniot H, Tillier A.-m., 2019, Qafzeh 9 mandible (ca 90-100 kyrs BP, Israel) revisited:  $\mu$ -CTand 3D reveal new pathological conditions. *International Journal of Paleopathology*, 26, pp104-110

Statut : publié



## **Qafzeh 9 mandible (ca 90–100 kyrs BP, Israel) revisited: $\mu$ -CT and 3D reveal new pathological conditions**

D. Coutinho Nogueira<sup>a,b\*</sup>, O. Dutour<sup>a,b</sup>, H. Coqueugniot<sup>a,b</sup>, A.-m. Tillier<sup>b</sup>

a - EPHE - PSL Research University, Paris – Chair of Biological Anthropology Paul Broca

b - UMR 5199 PACEA, CNRS – University of Bordeaux, Pessac

\*Corresponding author: Dany Coutinho Nogueira, tel. + 33 5 40 00 25 48, E-mail address:  
[dany.coutinho-nogueira@etu.ephe.psl.eu](mailto:dany.coutinho-nogueira@etu.ephe.psl.eu)

Postal address (same for all authors): UMR 5199 PACEA, Université de Bordeaux, Bâtiment B8, Allée Geoffroy Saint Hilaire, CS 50023,33615 Pessac cedex

Authors e-mails and phone:

Olivier Dutour: [olivier.dutour@ephe.psl.eu](mailto:olivier.dutour@ephe.psl.eu) - 00 33 5 40 00 25 52

Hélène Coqueugniot: [helene.coqueugniot@u-bordeaux.fr](mailto:helene.coqueugniot@u-bordeaux.fr) - 00 33 5 40 00 37 43

Anne-marie Tillier: [anne-marie.tillier@u-bordeaux.fr](mailto:anne-marie.tillier@u-bordeaux.fr)

Declarations of interest: none

Abbreviated title: New pathological conditions on Qafzeh 9 mandible

**Abstract**

[Redacted text block]

[Redacted text block]

**1. Introduction**

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

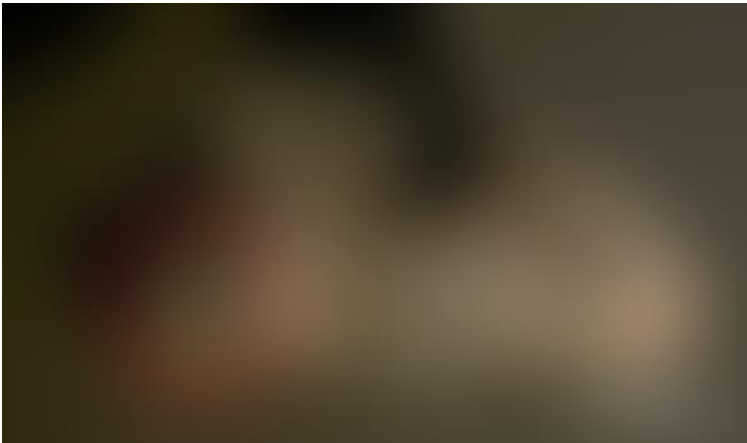
[Redacted]

[Redacted]

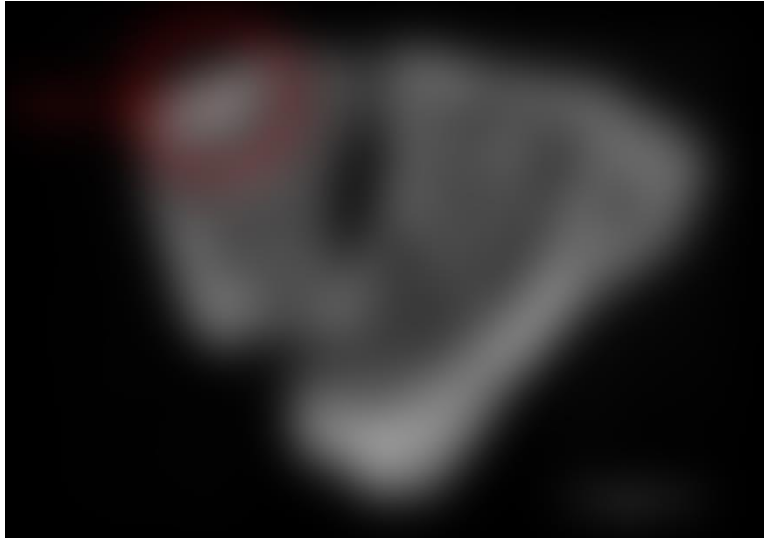
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



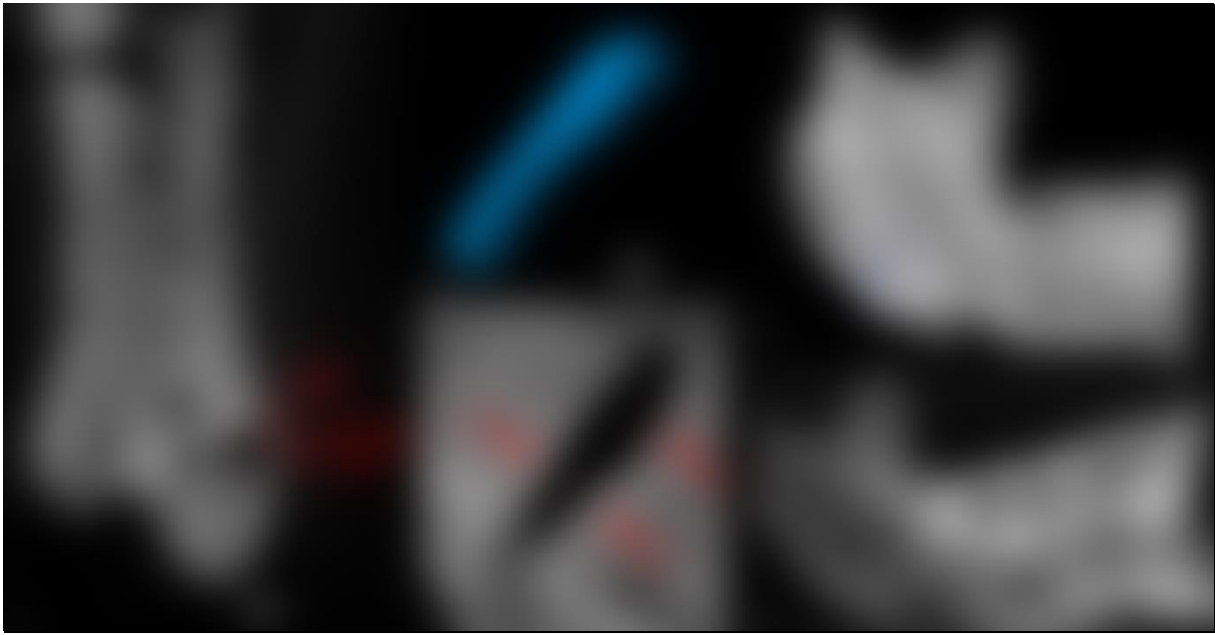
[Redacted]



[Redacted text line]

[Redacted text block consisting of multiple lines of blacked-out content]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

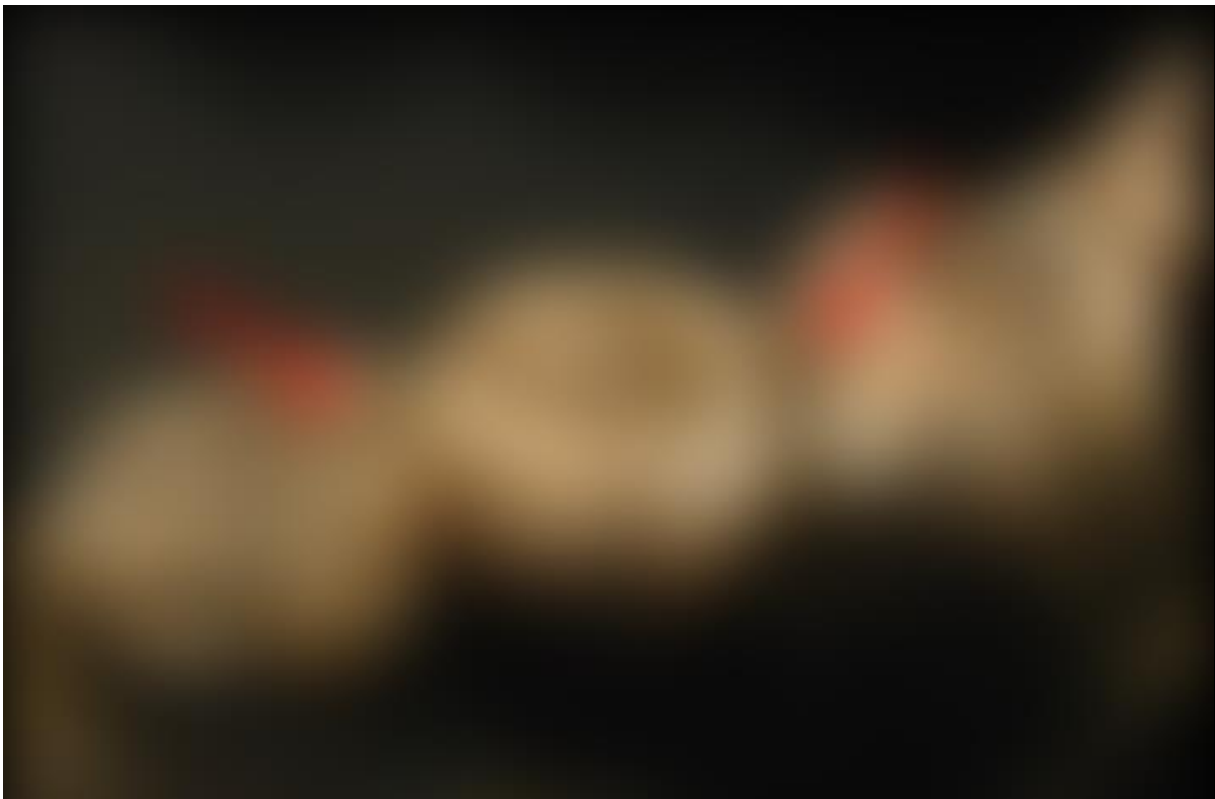
[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

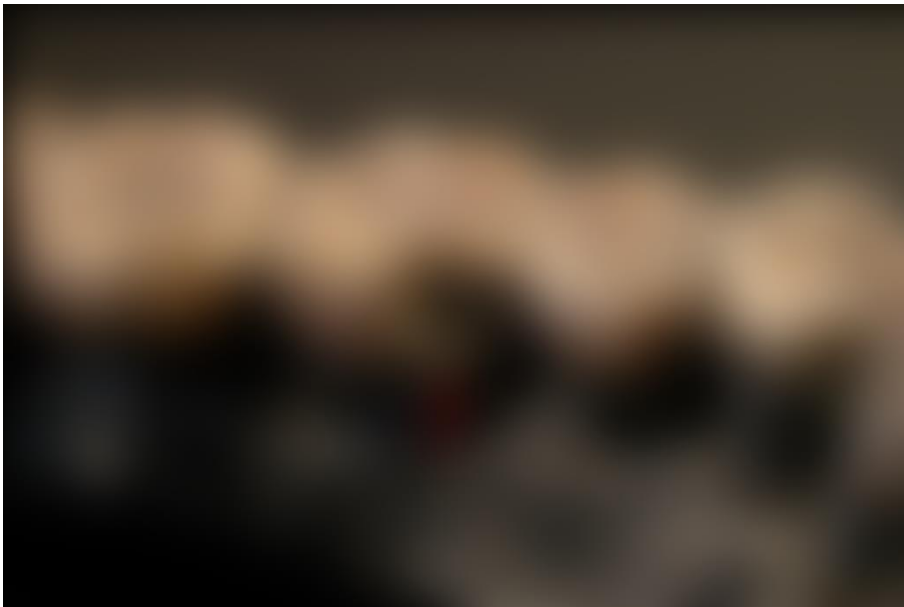


[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]



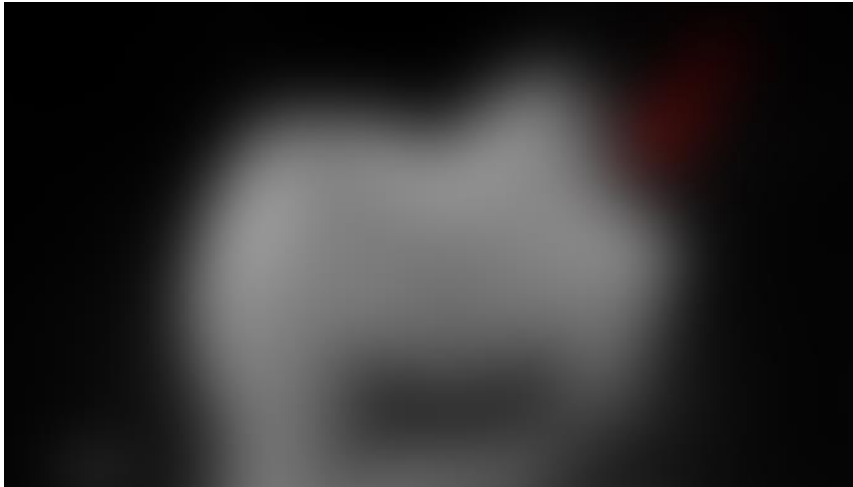
[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

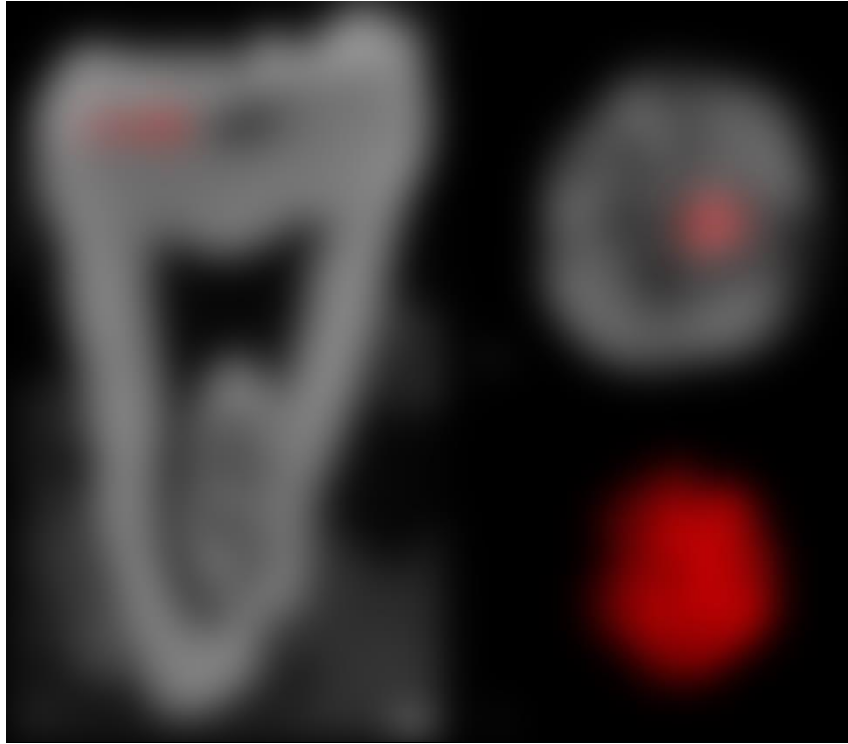
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

<https://doi.org/10.1002/ajpa.22777>

[Redacted text block]

[Redacted text block]

<https://doi.org/10.1007/s12105-012-0399-7>

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

<https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.025>

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

<http://doi.org/10.7860/JCDR/2015/14273.6772>

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

## 5. Qafzeh 9, description des atteintes sur le crâne

Outre les atteintes décrites sur la mandibule (Coutinho Nogueira *et al.* 2019b), Qafzeh 9 présente plusieurs atteintes superficielles sur la voûte crânienne. L'analyse de ces modifications par imagerie CT permet de préciser leur origine mais également de mettre en évidence de nouvelles caractéristiques jusqu'ici inédites sur le spécimen ou sur d'autres fossiles.

Dans sa partie latérale droite, l'os frontal de Qafzeh 9 présente plusieurs modifications superficielles : une lacune osseuse circulaire ainsi que deux sillons rectilignes, discontinus et parallèles de part et d'autre de la lacune. A ces modifications de surface s'ajoute, entre le sillon le plus latéral et la ligne temporale supérieure, un méplat (Figure 20). Cette concentration particulière de structures et modifications de l'os interroge quant à une possible cause commune. De plus, les sillons osseux pourraient correspondre à des traces de décharnement, leur localisation étant semblable à ce qui a été décrit sur les fossiles de Bodo (White 1986) et sur l'enfant Engis 2 (White et Toth 1989).



Figure 20 : partie droite de l'os frontal de Qafzeh 9 présentant plusieurs modifications osseuses

Le sillon le plus latéral a une longueur plus importante. Il se compose de quatre sillons de même direction. Le plus petit et plus médial est constitué de deux parties. L'observation macroscopique met en évidence une section en U avec des bords émoussés, ce qui est confirmé par l'observation sur les coupes CT. Ces dernières révèlent également la présence de plusieurs canaux dans l'épaisseur de l'os. Ces canaux (3 au maximum) sont particulièrement bien visibles dans les régions où les sillons sont absents en surface. Une ostéocondensation est également observable autour des canaux. La reconstruction 3D des canaux et des sillons met en évidence une continuité entre ces différentes structures (Figure 21, Figure 22).

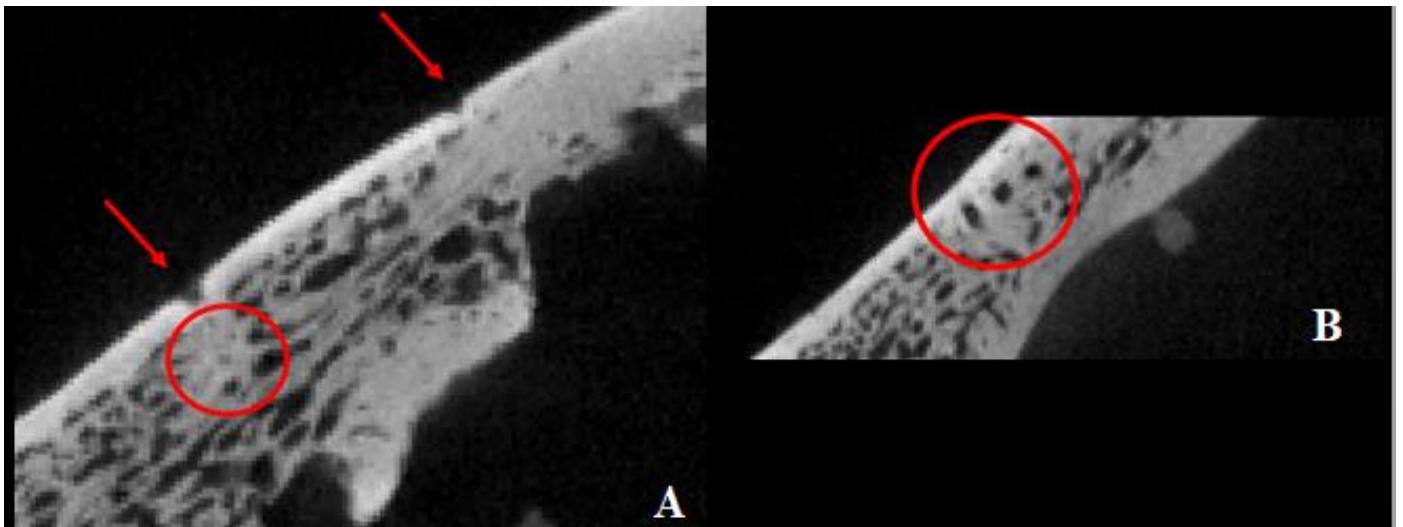


Figure 21 : A et B Coupes micro-CT de l'os frontal montrant les sillons et les structures sous-jacentes

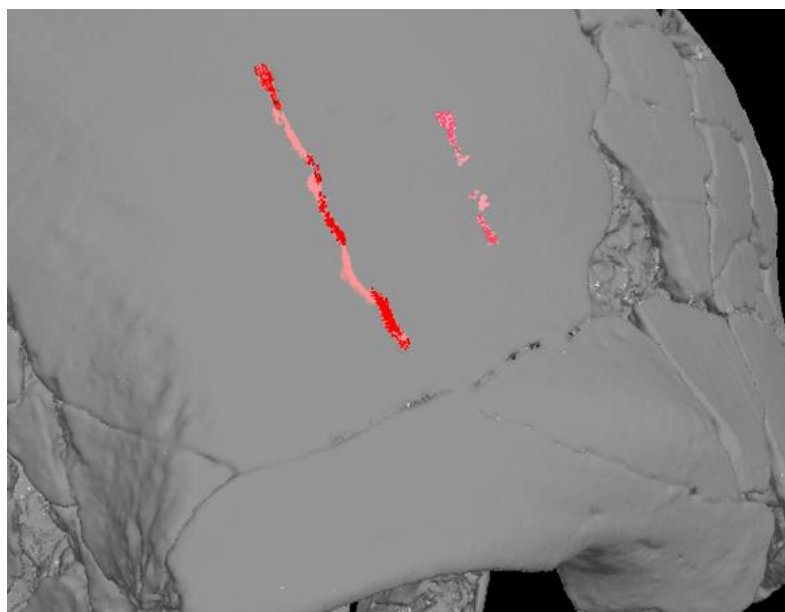
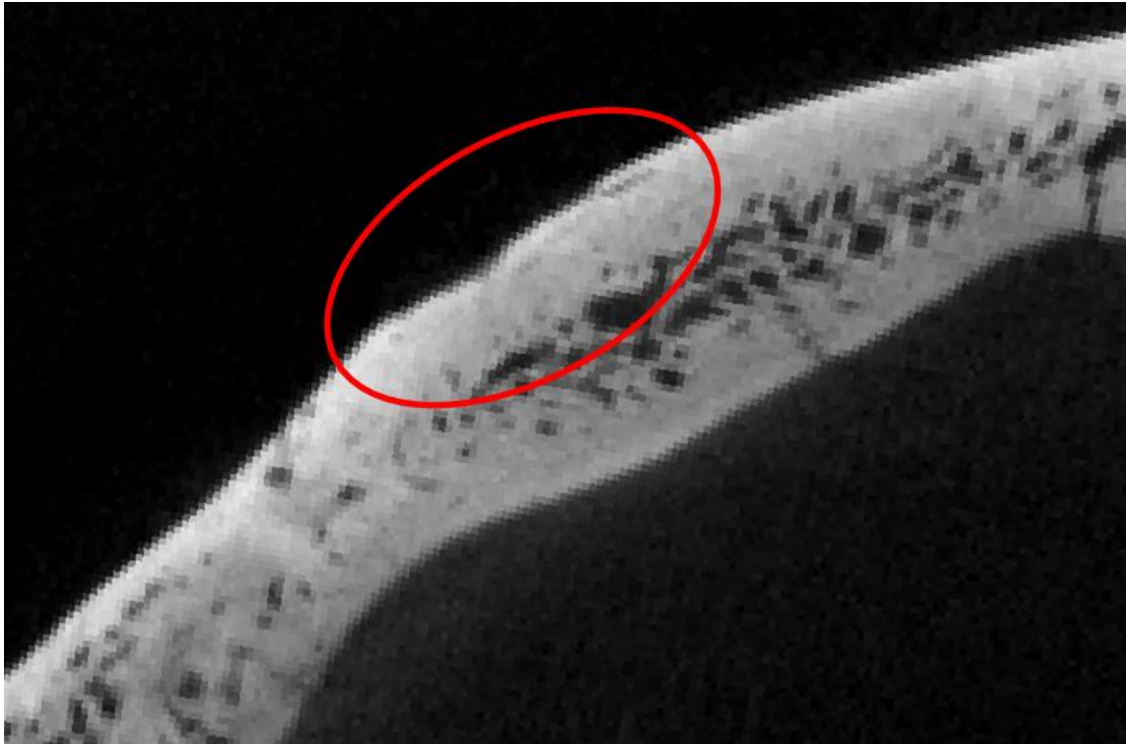


Figure 22 : reconstruction 3D des sillons et des canaux sous-jacents

La lacune osseuse circulaire se situe également dans la partie latérale droite du frontal, entre les deux branches du pédicule supra-orbitaire. Cette lacune avait été signalée par Arensburg et al. (2006) mais les auteurs n'avaient pas d'éléments permettant de déterminer avec certitude son étiologie. L'observation des images CT ne met en évidence ni trace de remodelage osseux ni présence de vaisseaux sanguins (Figure 23).



*Figure 23: coupe micro-CT du frontal montrant la lacune osseuse et les structures sous-jacentes*

Des atteintes superficielles similaires sont visibles sur l'os pariétal droit. Aucune trace de remodelage osseux n'est visible sous les lacunes.

Un méplat est visible sur l'os frontal de Qafzeh 9 dans la partie latérale droite entre le sillon le plus long et la ligne temporale supérieure. Il n'y pas d'atteinte particulière de la surface osseuse. En revanche, les coupes micro-CT révèlent une fusion des tables externe et interne avec une disparition du diploé. Cette fusion suit la ligne temporale supérieure sur son trajet frontal et pariétal. Elle est également visible sur le côté gauche de l'os frontal (Figure 24).



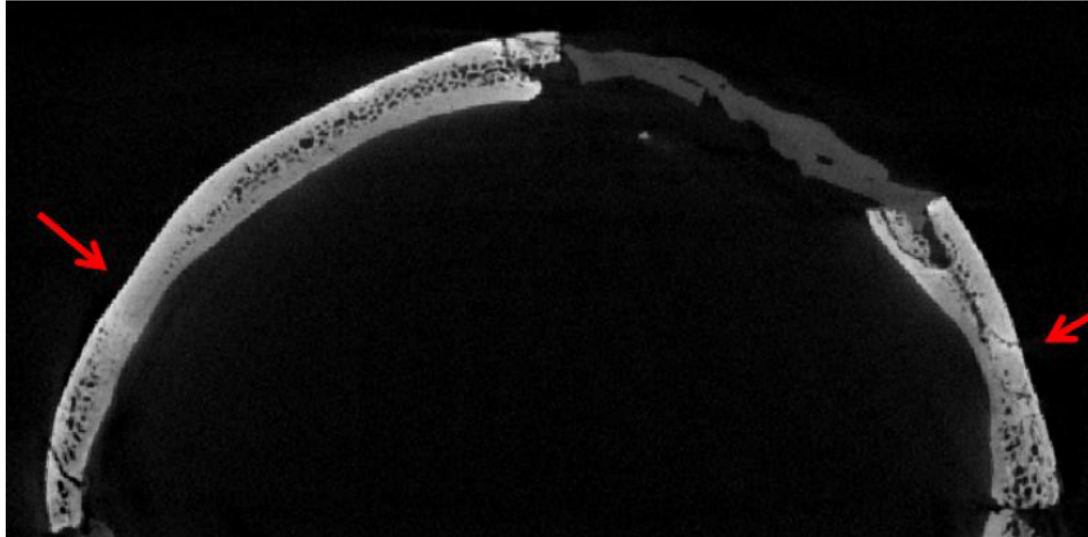


Figure 24 : coupe micro-CT du frontal montrant le méplat et les structures sous-jacentes

## 6. Qafzeh 9, restauration virtuelle de la mandibule

Si la mandibule de Qafzeh 9 est la plus complète de la série, elle présente néanmoins des déformations qui n'ont pu être complètement corrigées sur la pièce originale (Vandermeersch, 1981). Les déformations au niveau de la symphyse et sur le côté droit modifient la morphologie globale et les dimensions de l'os, notamment en lien avec sa largeur. Afin de restaurer la morphologie globale de la mandibule, nous utilisons la technique du *mirror imaging*, en créant le symétrique de la partie gauche. Le processus condyalaire droit a été conservé de ce côté et son symétrique a été ajouté au côté gauche permettant ainsi de disposer d'une mandibule complète (Figure 17). Les branches ont été déplacées afin d'être disposées en continuité avec le corps. Cette opération est celle qui fait le plus appel à la subjectivité de l'opérateur. En effet, les manques osseux et les éventuelles déformations dans cette région rendent ce placement difficile.



*Figure 25 : mandibule de Qafzeh 9 restaurée en vue de face et supérieure*

La prise des mesures sur la mandibule a été réalisée grâce au mandibulomètre virtuel développé par Bruno Dutailly dans le logiciel TIVMI® dans le cadre du mémoire de Master 2 d'Elodie Lassalle réalisé à l'UMR 5199-PACEA (non publié).

Afin de permettre une comparaison avec les autres fossiles moustériens du Proche-Orient, la référence est faite aux principales mesures définies par R. Martin et K. Saller (dans Braüer, 1988). Les mesures sont indiquées dans le Tableau 8.

	Longueur totale M68	Largeur bigoniaque M66	Largeur condylienne M65	Hauteur symphyse M69	Hauteur au foramen M69(1)	Épaisseur au foramen	Hauteur niveau M2 M69(2)	Largeur de la branche M71a	Angle de la branche M79	Largeur bi-M3
Qafzeh 25	116.9	127.4		33.1	32.6	(10.9)	28.2	46.2	105.9	76.8
Qafzeh 9	116	(93)	(112)	(37)	35	16.6	29			70.3
<b>Qafzeh 9 R</b>	<b>115.6</b>	<b>100.1</b>	<b>113.4</b>	<b>36.7</b>	<b>35.3</b>	<b>16.6</b>	<b>29.3</b>	<b>40.6</b>	<b>117.38</b>	<b>69</b>
Skhūl IV	(118)	(110)	132	42.5	40.5	15	35.5	(42.5)	107	
Skhūl V	109	98	132	36.5	(36)	13.2	(34.5)	36.2	107	70
Kebara 2	(110)	107	155	42	36.9	20.4	34.5	41.6	102	78
Amud 1	119	104.1	145	37	33.2	15	34	40	111	76.3
Tabūn I	(95)	93	133	30.3	27.5	15	26.2	38	104	71
Tabūn II	122	90.2	130	(43.3)	40.3	18	38.5	40	118	71
Ohalo II		102					30	40	106	
Shanidar 1	115	104.4	142.8	37.2	35.8	17.5	34.5	41.7	81	
Shanidar 2	112		154.5	37.3	34.8	17.6	34.4	44	74	
Shanidar 4	111		135	36.6				45.5		

Tableau 8 : principales dimensions (en mm) des mandibules découvertes en contexte moustérien et épipaléolithique au Proche et Moyen-Orient (d'après McCown et Keith 1939 ; Suzuki et Takai 1970 ; Vandermeersch 1981 ; Tillier et al. 1989 ; Hershkovitz et al. 1995 ; Schuh et al. 2017, présente étude . Les dimensions entre parenthèses sont estimées. Qafzeh 9 R correspond à la reconstruction virtuelle.

Il est intéressant de souligner que plusieurs dimensions ne sont pas modifiées par la restauration. En effet, les mesures concernant les hauteurs et les épaisseurs du corps ou celles concernant la largeur de la branche ne changent pas, venant confirmer la précision de la restauration. Les différences principales entre le modèle physique et le modèle virtuel restauré concernent les largeurs. La largeur bigoniaque notamment est la variable présentant la plus grande différence avec l'original, passant d'une estimation de 93 mm (considérée par B. Vandermeersch (1981) comme sous-évaluée) à une valeur de 100.1 mm. Elle se rapproche ainsi de la moyenne des mandibules de notre échantillon de comparaison (102 mm). En revanche, la largeur bicondylienne estimée et celle du modèle virtuel sont proches (112 et 113.4 mm). En l'absence des processus condyliques sur Qafzeh 25, il n'est pas possible de mesurer la largeur bicondylienne, néanmoins les branches semblent présenter la même verticalisation que celles de Qafzeh 9. Au sein de l'échantillon proche-oriental, Qafzeh 9 présente la valeur la plus faible pour cette dimension, et la différence entre la largeur bigoniaque et la largeur bicondylienne est également la plus faible (13.3 mm). Cette dimension varie entre 22 mm (Skhūl IV) et 48 mm (Kebara 2) pour les autres fossiles. Il semblerait que les fossiles qualifiés d'anatomiquement modernes (Qafzeh 9, Skhūl IV et V) présentent une verticalisation de la branche, alors que les autres fossiles présentent une extroversion de la partie supérieure. Il convient d'être prudent sur cette observation, d'autres fossiles (e.g. Amud I, Tabūn I) présentent une asymétrie avec une extroversion d'origine taphonomique de la partie supérieure d'une des branches, entraînant une augmentation de la largeur bicondylienne.

En revanche, l'angle de la branche (M79) est très élevé sur Qafzeh 9 ( $117,4^\circ$ ) se rapprochant de la valeur maximale de Tabūn II ( $118^\circ$ ). Cette variable est plutôt élevée pour le groupe Qafzeh-Skhūl (entre  $105,9^\circ$  et  $117,4^\circ$ ), elle est plus faible pour le groupe Amud-Tabūn-Kebara-Shanidar (entre  $74^\circ$  et  $111^\circ$ ), à l'exception de Tabūn II. Cette différence ne semble pas liée à la présence ou non d'un espace rétromolaire.

Les mandibules de Qafzeh 9 et 25 présentent plusieurs dimensions relativement proches, principalement au niveau de la longueur et des hauteurs du corps. Les principales différences interviennent au niveau des largeurs et des épaisseurs. La mandibule de Qafzeh 25 est la plus large (Schuh *et al.* 2017) de tout notre échantillon. Si la restauration de la mandibule de Qafzeh 9 permet de réévaluer les dimensions sur l'os et de les augmenter, celles-ci restent très inférieures à celles de Qafzeh 25 (largeur bigoniaque : 127.4 contre 100.1 mm). Inversement, l'épaisseur au niveau du foramen mentonnier est bien plus importante sur Qafzeh 9 que sur

Qafzeh 25 (16.6 contre 10.9 mm). De ce point de vue, Qafzeh 9 présente une valeur supérieure à la moyenne (15.7 mm) et se rapproche des mandibules robustes de Kebara 2 et de Shanidar 1 et 2. Qafzeh 25 présente la valeur la plus faible de notre échantillon.

### Analyses en composantes principales

Une première analyse en composante principale a été réalisée à partir des données sur les mandibules moustériennes du Proche et Moyen-Orient. Cependant, toutes les variables étaient orientées vers le même cadran dans le cercle des corrélations, indiquant une forte corrélation des toutes les variables sous l'effet de la taille. Nous avons double centré et log-transformé les données.

L'ACP obtenu est représentée en Figure 26 :

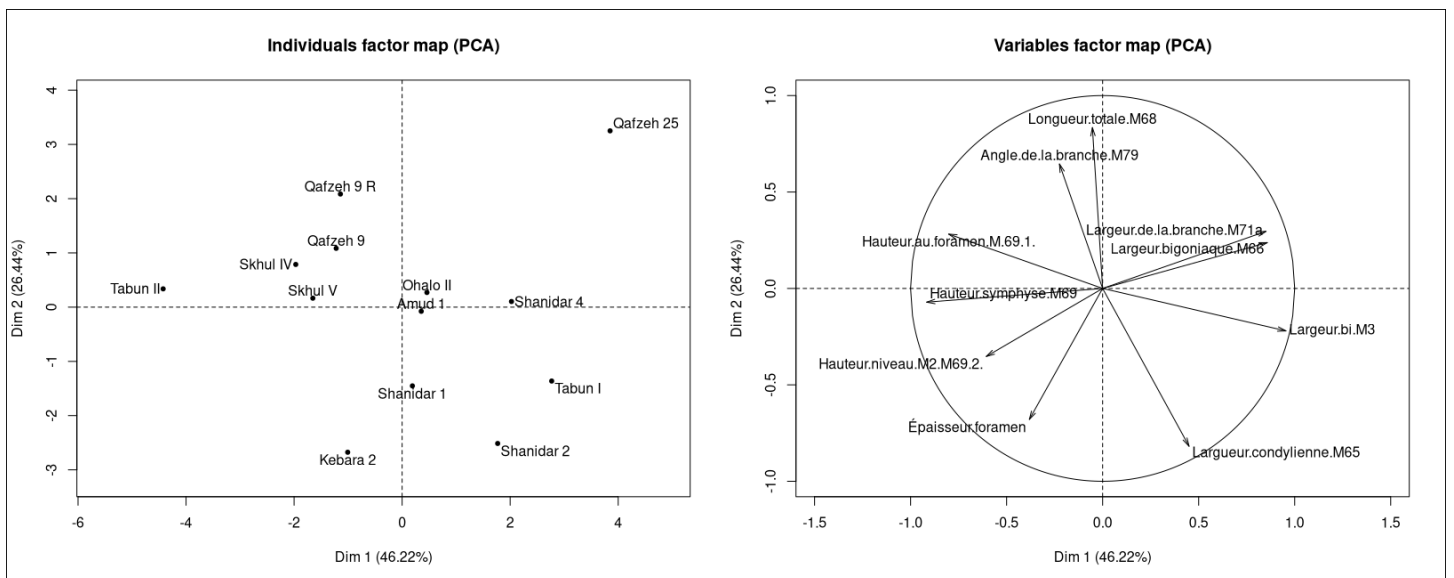


Figure 26 : analyse en composante principale des mandibules moustériennes du Proche et Moyen-Orient

Les principales variables de la mandibule sont représentées dans cette analyse (hauteurs, épaisseurs, largeurs et longueur).

L'axe 1 de l'ACP est influencé par les hauteurs et les largeurs alors que l'axe 2 représente la longueur totale et l'angle de la branche. Au total, 72.66 % de la variation est représentée sur le graphique.

Trois groupes sont visibles sur le graphique. Un groupe dans le cadran gauche supérieur composé des mandibules de Skhul, Qafzeh 9 et sa version restaurée ainsi que Tabun II ; un

deuxième groupe dans le cadran inférieur droit composé des mandibules de Shanidar, Amud 1, Kebara 2 et Tabūn I. Enfin, isolée dans la partie supérieure droite se trouve la mandibule de Qafzeh 25. Le premier et le deuxième groupe se séparent principalement en raison des variables concernant la largeur condylienne et l'angle de la branche, rejoignant ainsi les observations réalisées sur les données brutes. En revanche, Qafzeh 25 se détache de ces deux groupes en raison d'une valeur de la largeur bigoniaque très largement supérieure aux autres individus.

La mandibule de Qafzeh 9 et sa restauration virtuelle sont proches sur le graphique, ce qui s'explique par les nombreuses variables identiques entre les deux modèles. Néanmoins, la version restaurée s'éloigne légèrement du groupe composé par les mandibules de Skhūl, montrant ainsi une plus grande variabilité des mandibules modernes. Cette grande variabilité est confirmée par la position excentrée de la mandibule de Qafzeh 25 montrant une conformation géométrique différente de toutes les mandibules moustériennes de notre échantillon et différente de Qafzeh 9. Sa position s'explique à la fois par une largeur bigoniaque élevée et par une épaisseur du corps faible.

## VI. Discussion

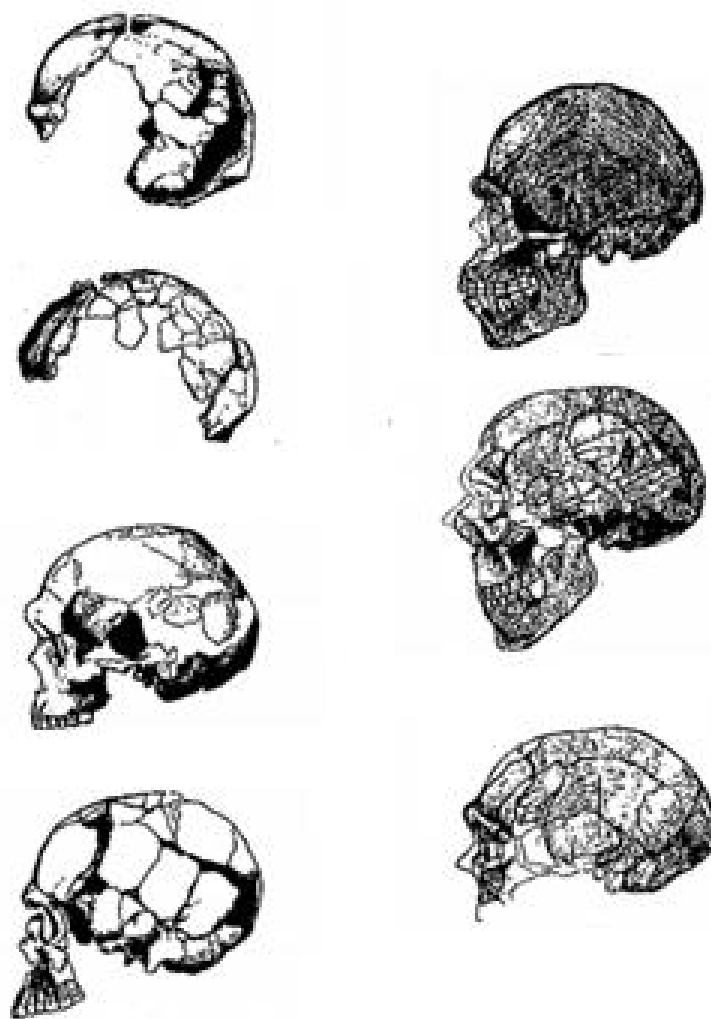
### 1. Méthodologie de restauration virtuelle de fossiles

Aucune technique de reconstruction virtuelle ou physique n'est parfaite. Chaque individu présente une part d'asymétrie naturelle qui se retrouve ainsi effacée par la reconstruction virtuelle et crée un biais pour l'étude du fossile (Gunz *et al.* 2009). Le cas de Qafzeh 9 peut être ici souligné. En effet, si la déformation taphonomique a créé des asymétries, d'autres existaient déjà sur l'individu de son vivant, notamment les malpositions dentaires (Tillier 2007 ; Sarig et Tillier 2014).

Toutes les techniques sont soumises à une certaine subjectivité de l'utilisateur, comme les reconstructions physiques. En effet, l'état de certains fossiles ne permet pas toujours une application simple de ces techniques. Les manques osseux et les déformations, par exemple obligent l'anthropologue à faire des choix dans le placement et le nombre des points de repères (*landmarks*) et des *semi-landmarks*. Un même utilisateur réalisant plusieurs restaurations sur un même fossile aura des résultats proches mais légèrement différents (Hublin *et al.* 2017 ; Schuh *et al.* 2017).

Le choix de l'échantillon de référence pour les reconstructions statistiques peut également influencer la reconstruction finale. Ainsi, le choix d'un échantillon néanderthalien européen pour la reconstruction de la face de Amud 1 (Amano *et al.* 2015) a implicitement rapproché cet individu du groupe des Néanderthaliens.

En ce qui concerne les fossiles de Qafzeh qui occupent une position chronologique et géographique unique, ils représentent avec les spécimens de Skhül, le seul groupe de fossiles anatomiquement modernes datés du Paléolithique moyen (en contexte Moustériens) au Proche-Orient. Cependant si les individus de Skhül sont généralement associés à ceux de Qafzeh, ils sont plus anciens et des différences morphologiques et de robustesses sont notables. De plus, la variabilité intra (Figure 27) et inter-site étant également importante (Wolpoff 1980), leur utilisation comme référent est donc problématique. Il n'est donc pas possible d'utiliser un échantillon de référence externe au site de Qafzeh pour proposer des restaurations virtuelles.



*Figure 27: comparaison des crânes adultes de Qafzeh (3, 5, 6 et 9 à gauche) et de Skhul (V, IV et IX à droite; Wolpoff 1980)*

De plus, tous les fossiles adultes du site de Qafzeh présentent des déformations et ou des fragmentations importantes, ils ne peuvent donc pas servir directement de « modèle » de référence. La restauration d'un fossile puis son utilisation pour restaurer d'autres spécimens, aurait pu être envisagée mais elle introduit deux biais. Le premier est lié à la restauration du « fossile modèle ». En effet, celle-ci ne représenterait pas la morphologie réelle du fossile avant les atteintes taphonomiques mais une version supposée proche de l'original, cette légère différence se répercuterait donc sur les autres fossiles eux-mêmes restaurés grâce à ce fossile-référence. Le deuxième biais est lié à la variabilité intra-site. Tous les individus d'un même site ne partagent pas les mêmes caractères morphologiques, les mêmes proportions, les mêmes



pathologies. Nous pouvons, par exemple, citer les différences morphologiques entre, d'un côté Qafzeh 6 et 25, et de l'autre Qafzeh 9, pourtant issus du même site et de la même période. L'utilisation de Qafzeh 6, le fossile le moins déformé, comme modèle, aurait pu être envisagée pour la restauration de Qafzeh 25 mais l'emploi d'un unique fossile aurait comme conséquence que tous les fossiles reconstruits à partir de lui seraient des copies de tailles différentes, effaçant ainsi la variabilité intra-site.

En ce qui concerne Qafzeh 9, plusieurs méthodes ont été appliquées sur la mandibule avant de sélectionner le *mirror imaging*. En effet, pour ce type de restauration, Gunz *et al.* (2009) recommandent l'utilisation de l'algorithme TPS. Plusieurs tentatives de restauration ont été effectuées en suivant cette méthode, en tentant de rétrodéformer le côté droit mais ces dernières n'étaient pas satisfaisantes en raison de l'étirement de l'os et des dents. L'utilisation du *mirror imaging*, entraîne certes l'élimination de tout le côté droit mais l'étude morphologique, paléopathologique et dentaire ayant déjà été réalisée sur le modèle original physique et virtuel, aucune perte d'information n'est à noter. Ce modèle virtuel reconstruit n'est utilisé et utilisable que pour des études métriques.

Comme attendu, la restauration de la mandibule de Qafzeh 9 a principalement permis de corriger les déformations et d'obtenir des valeurs pour les dimensions concernant les largeurs de l'os. Les corrections virtuelles n'ont pas affecté les variables concernant les épaisseurs et les hauteurs du corps mandibulaire.

Il est intéressant de noter que certaines variables proposées en estimation par B. Vandermeersch (1981) sont très proches des valeurs obtenues sur le modèle 3D reconstruit. C'est le cas en particulier de la largeur bicondylienne. Cette mesure devait être difficile à estimer en raison de l'absence du processus condyloïde gauche sur le modèle physique et de l'effet de la déformation plus prononcée dans la région postérieure de la mandibule.

## **2. Identité biologique de Qafzeh 9**

Les deux méthodes d'estimation de l'âge fournissent des résultats sensiblement différents. Ainsi, les données sur l'édification dentaire fournissent un âge proche de la limite inférieure de la classe d'âge [15-19] ans alors que les données sur la maturation osseuse le place près de la limite supérieure.

Ces différences peuvent avoir plusieurs causes. Les méthodes d'estimation de l'âge sont populations-dépendantes et perdent en précision lorsqu'elles sont appliquées sur d'autres populations (Franklin 2010). Pour rappel, la méthode de Moorrees *et al.* (1963) a été développée sur un échantillon d'enfants états-uniens (346 enfants ayant vécu au XXème siècle) et celle de AlQahtani *et al.* (2010) utilise un échantillon hétérogène (collections de références et radiographies d'instituts dentaires, 704 individus au total du XVIII au XXème siècle et une part importante d'enfants d'origine Bangladaise compose l'échantillon radiologique). Les méthodes de Coqueugniot et Weaver (2007) et Coqueugniot *et al.* (2010) ont été mises en place après l'étude de la collection de Coimbra au Portugal (137 individus âgés de 7 à 29 ans du XXème siècle). L'application de ces méthodes à des individus fossiles peut donc entraîner de légers décalages dans les estimations.

L'âge déterminé à partir de la maturation dentaire semble être plus fiable que la maturation osseuse qui est plus sensible aux variations environnementales (Lewis et Garn 1960 ; Liversidge *et al.* 1998 ; Cardoso 2007 ; Colombo *et al.* 2013). Un retard dans la maturation osseuse de Qafzeh 9 n'est pas à exclure, au vu du mode de vie des nomades moustériens et de la présence de trouble mineurs de la croissance osseuse détectés sur des sujets de Qafzeh (Fibrome non-ossifiant de la mandibule sur Qafzeh 9 ; Chondroblastome sur Qafzeh 10 ; Coutinho Nogueira *et al.* 2019b ; Dutour et Tillier 2019). Ce constat peut également être fait en ce qui concerne le développement dentaire, Qafzeh 9 présentant sur la deuxième molaire mandibulaire droite un défaut dentaire pré-éruptif (Coutinho Nogueira *et al.* 2019b). Cependant, lorsque nous avons estimé l'âge de Qafzeh 9, nous avons exclu la mandibule et la deuxième molaire droite afin d'éviter un biais dû à ces troubles du développement.

La méthode de la maturation dentaire de Moorrees *et al.* (1963) repose sur l'observation de radiographies, nous avons établi notre analyse sur trois types d'images : une radiographie classique, une radiographie réalisée à partir d'un scan micro-CT et sur les coupes CT directement.

Les radiographies réalisées sur la mandibule de Qafzeh 9 permettent d'observer l'ouverture de l'apex de la canine, les observateurs étant partagés sur la cotation de la deuxième prémolaire. Les coupes microtomodensitométriques permettent une observation plus fine de l'apex de la deuxième prémolaire et de coter son apex ouvert. Dans le cas de Qafzeh 9, la méthode

d'observation n'a pas d'influence sur l'estimation, la canine et la deuxième prémolaire mandibulaire ayant des rythmes de maturation identiques.

La maturation des membres inférieurs de Qafzeh 9 semble plus avancée que celle des membres supérieurs. Ainsi, certaines fusions qui dans les populations actuelles suivent les mêmes rythmes de maturation, sont, sur Qafzeh 9, complètement terminées sur les membres inférieurs mais encore en cours de fusion sur les membres supérieurs. Par exemple, les extrémités distales et proximales sur le tibia gauche sont déjà fusionnées alors que l'extrémité distale de l'ulna est encore très nettement en cours de fusion. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ces différences. Il est possible d'envisager premièrement des facteurs populationnels, avec des rythmes de maturations différents entre les premiers hommes anatomiquement modernes et les populations actuelles. Des facteurs environnementaux peuvent également être évoqués, les populations nomades pourraient avoir une maturation « accélérée » des membres inférieurs en raison de sollicitations musculaires plus importantes que pour les populations sédentaires. Enfin, des atteintes pathologiques affectant la maturation osseuse pourraient également être proposées. La première hypothèse ne pourra être testée qu'avec la découverte de nouveaux fossiles d'âge au décès similaire à celui de Qafzeh 9. La deuxième hypothèse requiert des données relevant d'une étude de la maturation osseuse portant sur des collections anthropologiques de populations nomades d'âge et de sexe connus. Enfin, les précédentes études paléopathologiques menées sur les os infra-crâniens du spécimen (Dastugue 1981 ; Arensburg *et al.* 2006) n'ont pas mis en évidence d'atteintes possiblement liées à une modification des rythmes de maturation.

Selon une combinaison des résultats des différentes méthodes, l'estimation de l'âge pour Qafzeh 9 serait comprise entre 13,5 et 20 ans. Qafzeh 9 est donc un individu dont la maturation osseuse n'est pas finalisée, il convient donc d'être prudent quant à toute tentative de détermination du sexe basée sur des régions anatomiques dont la maturation n'est pas complètement achevée. De plus, les déformations importantes du bassin sont un élément supplémentaire incitant à la prudence dans l'interprétation des observations morphologiques et métriques.

En effet, lors de l'application de la méthode de la DSP2, les différents observateurs pourtant tous familiarisés avec la prise de mesure (qu'il s'agisse de l'inventeur de la méthode ou de collègues initiés par ce dernier) obtiennent des mesures en partie différentes. Cela s'explique

par les déformations importantes des os coxaux et leur gestion par chaque observateur. Cependant une majorité se dégage dans les résultats en faveur d'un sexe masculin.

Les équations discriminantes développées sur les ossements du tarse postérieur (Alonso-Llamazares et Pablos 2019) sont issues d'une population d'origine nord-américaine (Etats-Unis) récente. Là encore, leur application à des spécimens fossiles peut être sujette à discussion. Les contraintes biomécaniques sur les os du pied des populations actuelles sédentaires sont différentes de celles de populations nomades anciennes. Néanmoins, 75% des équations fournissent un résultat masculin, pourcentage qui monte à 91.6% lorsque les équations incluent plusieurs variables. Dans les cas où les résultats sont négatifs et donc féminins, les valeurs sont toujours proches de 0 (entre -0.521 et -0.0032), alors que les résultats positifs sont dans certains cas très supérieurs à 0 (entre 0.419 et 2.59). Ceci semble conférer aux résultats masculins un poids plus important.

Le dimorphisme sexuel des os du tarse est fortement corrélé à la taille, les individus masculins ayant des os plus grands (Steele 1976 ; Introna et al. 1997 ; Bidmos et Asala 2003, 2004). Dans le cas où la croissance de Qafzeh 9 ne serait pas complètement finalisée, les mesures prises sur les os seraient alors sous-estimées. Des valeurs plus élevées auraient pour effet d'augmenter les résultats des équations. Les résultats positifs seraient plus positifs encore et les résultats négatifs plus proches de 0 voire positifs.

Un étude toute récente (Braga *et al.* 2019) met en évidence un dimorphisme sexuel affectant la morphologie de la cochlée chez les individus immatures. L'application de cette méthode élaborée sur Qafzeh 9, dont les deux cochlées ne présentent pas de déformation, permettrait d'obtenir des données inédites sur une région anatomique différente du bassin et du tarse et mieux conservée, afin d'enrichir les discussions concernant le sexe de ce spécimen. Dans l'attente de ces analyses, nous considérons le sexe masculin retenu pour Qafzeh 9 comme une hypothèse fiable.

### **3. Atteintes observées sur Qafzeh 9 et de leur origine**

#### **3.1. Les sillons**

La présence de canaux sous les sillons et leurs relations exclut une origine post-mortem. Au vu de la localisation, de la forme et de la présence de plusieurs canaux pouvant correspondre à des vaisseaux sanguins et des nerfs, l'hypothèse la plus probable est qu'il s'agit du pédicule supra-

orbitaire qui peut être bifide (Hauser et de Stefano 1989). L'absence de sillons ou de canaux dans la partie inférieure de l'os à proximité de l'orbite peut s'expliquer par les atteintes taphonomiques plus importantes dans cette région, tout comme dans la partie gauche du frontal.

Qafzeh 9 semble être le seul fossile du site à montrer cette variation anatomique. En effet, nous n'observons pas d'empreinte sur Qafzeh 3 ou Qafzeh 25. En revanche, plusieurs fossiles adultes de Qafzeh (3, 6, 9 et 25) présentent une incisure supra-orbitaire. La présence d'incisures sur un des sujets immatures, Qafzeh 11, a été notée mais celle-ci fait défaut sur deux autres enfants (Qafzeh 10 et 15) (Tillier 1999). L'observation ne peut être faite sur Qafzeh 7 et 12 ni sur Skhul IV en raison des atteintes taphonomiques. Ce caractère se retrouve sur Skhul V (côté droit) et Zuttiyeh mais il est absent sur Skhul I, Tabun C1 et Amud 1.

Cette variation anatomique affecte donc plusieurs individus de Qafzeh, tandis qu'elle est plus rare sur les autres spécimens levantins dont le support osseux est conservé.

### **3.2. La lacune osseuse superficielle**

La lacune présente des bords irréguliers, non émoussés, et sa surface est irrégulière. Sa localisation et sa forme ne correspondent à aucune variation anatomique connue (Hauser et de Stefano, 1989). L'observation des coupes CT ne met pas en évidence de remodelage osseux net sous la lacune. Aucun canal ou vaisseau sanguin n'est visible, ce qui semble exclure toute réaction osseuse et donc un processus pathologique ou une atteinte ante-mortem. L'hypothèse la plus parcimonieuse est donc une origine taphonomique.

### **3.3. Atteintes superficielles sur l'os frontal et l'os pariétal**

L'absence de vaisseaux sanguins et de traces de remodelage osseux sous ces atteintes plaident en faveur d'une origine taphonomique. En effet, les observations réalisées pour d'autres caractères, en particulier pour le pédicule supra-orbitaire, ont démontré que la précision de l'acquisition CT était suffisante pour évaluer la présence ou non de vaisseaux sanguins et de réaction osseuse. De plus, aucune variation anatomique d'aspect similaire n'est connue dans ces régions anatomiques.

### **3.4. Méplat et amincissement du diploé/fusion tabulaire**

Qafzeh 9 présente un amincissement de la voûte crânienne bilatérale avec fusion des tables et disparition locale du diploé au niveau frontal et pariétal.

Cet amincissement se retrouve sur plusieurs jeunes individus du site et ceux de Skhūl auxquels nous avons pu avoir accès, notamment Qafzeh 10 (6 ans), Qafzeh 11 (12-13 ans) et Skhūl I ( $\approx$  3 ans) ; il est absent sur les adultes Qafzeh 25 et Skhūl V.

Ce caractère est présent sur un échantillon de la collection de la faculté de médecine de Strasbourg (10 individus, 2-10 ans) que nous avons observés. Il est également présent sur les 6 individus immatures de la collection numérique mise à disposition par Lynn Copes (Copes, 2012). On le retrouve également sur 5 individus subadultes de cette collection.

L'échantillon que nous avons pu observer (5 individus moustériens modernes du Levant, 63 individus dont 11 immatures de la collection de Lynn Copes et 10 individus de la collection de Strasbourg) est faible mais il permet de mettre en évidence la présence systématique du caractère sur les individus immatures tant fossiles que récents et une absence sur les individus matures. Ce caractère semble donc être lié à l'âge. Au vu de sa localisation, au niveau de la zone d'insertion en éventail du muscle temporal, il est possible de lier cet amincissement à la fonction masticatoire. Une hypothèse serait que la fusion des tables interne et externe permettrait un renforcement de la zone d'insertion musculaire durant la croissance et les changements de dentition. Cette hypothèse devra cependant être vérifiée sur une collection de référence d'âge et de sexe connus et sur un plus grand échantillon.

#### **4. Discussion paléopathologique générale**

Dans le cadre de ce travail doctoral, une étude paléopathologique a été menée sur le bloc crânio-facial et la mandibule des trois individus Qafzeh 6, 9 et 25. Seul Qafzeh 9 a révélé des pathologies relativement bénignes, relatives au développement de la mandibule (Fibrome non ossifiant de la mandibule, ostéochondrite disséquante de l'articulation tempo-mandibulaire et défaut dentinaire pré-éruptif) ainsi que des caries (Coutinho Nogueira *et al.* 2019b). On ne peut exclure pour Qafzeh 6 et 25 que l'absence constatée de pathologies relève de limites inhérentes aux techniques d'acquisitions pour ces deux individus (photogrammétrie pour Qafzeh 6 et CT-scan pour Qafzeh 25) tandis que nous disposons d'une acquisition micro-CT pour Qafzeh 9. Une extension de cette étude 3D au reste du squelette de Qafzeh 9 (et une éventuelle ré-étude des autres fossiles adultes incluant Qafzeh 3, 7 et 8) est nécessaire avant un croisement des données avec les pathologies non traumatiques précédemment relevées sur les individus immatures (Tillier 1999 ; Tillier *et al.* 2001 ; Dutour et Tillier 2019).

Nous nous focaliserons donc ci-après sur les pathologies détectées sur Qafzeh 9. Plusieurs pathologies avaient été notées sur le fossile avant notre étude (Dastugue 1981), comme la présence d'un hallux valgus sur le pied droit qui n'a pas été confirmée par la suite (Arensburg et al. 2006). Ces derniers auteurs ont signalé des atteintes observées principalement sur le bloc crânio-facial, dont une sur le processus condyalaire droit et une possible fracture par enfoncement sur le calcaneus droit. Une malposition dentaire ainsi que des problèmes d'occlusion avaient également déjà été signalés (Tillier 2007 ; Sarig *et al.* 2013 ; Tillier et Sarig 2014).

Les pathologies de l'articulation temporo-mandibulaire ne sont pas rares sur les moustériens du Levant. Outre l'ostéochondrite disséquante sur Qafzeh 9, des atteintes d'aspect morphoscopique similaires sur Amud 1 et Tabūn C2 ont été relevées (Tillier, com. pers.) ainsi que des atteintes dégénératives sur Skhūl V et VII (McCown and Keith, 1939). Contrairement à Qafzeh 9, ces fossiles ne présentent pas de problèmes d'occlusion, l'étiologie est donc différente. Ces fossiles sont également plus âgés, les processus liés à la sénescence sont à prendre en considération, tout comme une possible utilisation de leur mâchoire pour des activités paramasticatoires. A ce jour, il n'a pas été noté d'autres pathologies de l'articulation temporo-mandibulaire sur les individus de Qafzeh.

Le fibrome non-ossifiant de la mandibule de Qafzeh 9, contrairement à d'autres localisations sur le squelette infra-crânien, semble rare dans les populations modernes. Il convient cependant d'être prudent quant aux fréquences, *sex ratio* et âge moyen présentées dans les différentes études (Bailey *et al.* 2001 ; Bowers *et al.* 2013; Mehri Turki 2014) en raison du caractère asymptomatique de cette pathologie, découverte souvent de façon fortuite. Le fibrome non-ossifiant découvert sur la mandibule de Qafzeh 9 est à ce jour et à notre connaissance, la plus ancienne manifestation de ce trouble. Rappelons que dans le registre fossile du Levant Sud, seul Qafzeh 10 présente un chondroblastome, une tumeur osseuse bénigne, au niveau de l'épiphyse distale du fémur droit (Dutour et Tillier 2018).

Sur la base d'une analyse paléopathologique et des données génétiques, une étude récente (Ríos *et al.* 2019) a démontré l'existence d'un nucléus familial fortement endogame sur le site d'El Sidrón. Les individus de ce site présentaient ainsi des pathologies du développement considérées dans les populations modernes comme rares et pouvant être liées à l'endogamie. Pour O. Dutour et A-m. Tillier (2018), la présence à Qafzeh de nombreuses pathologies du

développement rares dans les populations actuelles interroge sur la composition du groupe moustérien, sur les modes de reproduction et relations avec les autres groupes contemporains. Qafzeh 9 et 10 ont été découverts au sein de la même sépulture, présentent chacun une pathologie rare du développement osseux et partagent plusieurs caractères non métriques osseux et dentaires (Tillier 1999). Ces données, à la fois archéologiques et biologiques, semblent indiquer un lien entre ces deux individus. Leurs âges respectifs semblent néanmoins exclure un lien de filiation. Cependant et comme le rappellent Tillier et Majó (2008) seule une analyse paléogénétique pourrait établir un éventuel lien familial.

Les cas identifiés et publiés de caries dentaires sont rares pour le Paléolithique moyen. A Qafzeh cependant 4 individus présentent des caries : deux non-adultes Qafzeh 4 et 9, ainsi que deux adultes, Qafzeh 3 et 7 (Tillier 1999, Tillier 2004 ; Tillier 2007 ; Trinkaus et Pinilla, 2009, Coutinho Nogueira *et al.* 2019b). Par ailleurs, Qafzeh 3 et 9 présentent plusieurs dents affectées, trois dans le cas de Qafzeh 3 et deux pour Qafzeh 9.

Opal *et al.* (2015) soulignent que l'apparition de caries est un phénomène complexe et multifactoriel mais les auteurs mettent également en avant le fait que des groupes d'individus liés peuvent être particulièrement affectés sans toutefois pouvoir identifier les causes avec certitude. Si des facteurs environnementaux et alimentaires sont fréquemment pointés comme cause de l'apparition de caries dans la littérature, plusieurs études soulignent également l'importance des facteurs génétiques. Les gènes identifiés étant impliqués dans une augmentation ou diminution des fréquences des caries chez certains individus sont liés à la formation même des tissus dentaires (e.g. Wang *et al.* 2012a ; Bayram *et al.* 2015) à la production de salive (e.g. Wang *et al.* 2012b), encore au système immunitaire (e.g. Zakhary *et al.* 2007) ou bien encore à un attrait pour les aliments sucrés (Maciel *et al.* 2001 ; Wendell *et al.* 2010) même si pour ce dernier point une étude tend à nuancer les analyses précédentes (Bretz *et al.* 2006).

Nous pouvons donc supposer qu'un groupe restreint d'individus partageant le même environnement, une alimentation proche, des pratiques identiques et des liens génétiques, partageront également un risque similaire de développer des caries. Trinkaus et Pinilla (2009) suggèrent que l'alimentation des populations vivant sur le pourtour méditerranéen, plus riche ressources contenant des glucides, soit responsable d'une fréquence plus élevée de pathologies dentaires.



Il est difficile de comparer les fréquences d'atteintes carieuses entre les sites du Levant en raison des disparités dans la constitution des échantillons. En effet, l'échantillon découvert à Qafzeh comprend 277 dents (68 déciduales et 209 permanentes), elles sont principalement issues d'arcades dentaires complètes. L'état de conservation et la composition des échantillons des autres sites sont très différents de celui de Qafzeh. Si environ 25% sont des dents déciduales à Qafzeh, le taux passe à près de 50% à Kébara, toutes des dents isolées à l'exception notable de Kebara 1 (Tillier 2007).

Seule une dent de Skhul II, une dent isolée à Kebara (Kébara 27) ainsi qu'une molaire à Hayomin (HCM20) semblent affectées par une lésion carieuse au sein des sites respectifs (Sognaes 1956; Tillier *et al.* 1995, 2004, 2011). Il s'agit des seules autres caries mentionnées au Paléolithique moyen du Levant. En revanche, 4 individus sont affectés à Qafzeh dont deux ont plusieurs dents atteintes. En termes de fréquences brutes, sans considérer le type de dent ou les dents manquantes, les fréquences sont équivalentes entre Qafzeh et Kébara (environ 2.5% contre 2.1%, calculées avec les données issues de Tillier 2007). Cependant, les cas d'atteintes multiples relevées sur Qafzeh 3 et 9 sont uniques. Les atteintes multiples sur un individu jeune comme Qafzeh 9 interpellent. En supposant que l'environnement et l'alimentation étaient similaires entre les moustériens de Skhul et ceux de Qafzeh et en l'absence d'hypoplasies et de problèmes de développement de l'émail, la vulnérabilité aux caries des spécimens de Qafzeh pourrait s'expliquer en partie par des facteurs génétiques et immunitaires.

Une étude (Allazzam *et al.* 2014) met en avant une fréquence élevée de caries affectant les premières molaires permanentes et fait le lien avec l'hypominéralisation incisive molaire. Dans le cas de Qafzeh 9, si effectivement une première molaire permanente est atteinte par une carie, aucune hypominéralisation des molaires et/ou des incisives n'a été notée.

Si la présence de pathologies nous apporte de nombreuses informations sur les relations entre les individus et éventuellement sur leurs modes de vie, l'absence de pathologie peut également être significative. Ainsi, E. Trinkaus *et al.* (2019) dans leur étude sur les exostoses du conduit auditif externe notent l'absence de ce caractère sur Qafzeh 6 et 9. En raison des déformations dues aux processus taphonomiques, ce caractère est difficilement observable sur Qafzeh 25 mais il semble également absent du conduit gauche. Ces observations contrastent avec les fréquences observées sur les populations néanderthaliennes européennes contemporaines. Plusieurs fossiles levantins archaïques et modernes présentent des exostoses : Amud 1,

Shanidar 1, Tabūn C1 et Skhūl VI (Trinkaus *et al.* ibidem). L'apparition d'exostoses du conduit auditif externe est fortement liée à l'environnement et en particulier à la pénétration d'eau froide ou de vent dans le conduit auditif (Kennedy, 1986 ; King *et al.* 2010). La présence d'exostoses sur les fossiles du Mont Carmel n'est pas inattendue au vu de la localisation géographique des sites sur le littoral méditerranéen et des fréquences observées au Paléolithique moyen. L'absence d'exostose à Qafzeh pourrait être liée principalement à l'âge des individus, la plupart étant immatures ou jeune adulte contrairement aux autres fossiles levantins atteints, plus âgés. Notons que si Qafzeh est situé à environ 40 km du littoral, plusieurs coquillages d'origine méditerranéenne ont été découverts sur le site (Bar Yosef-Mayer *et al.* 2009).

F. A. Karakostis *et al.* (2018) notent des enthésopathies sur les os des mains de Qafzeh 9 qu'ils lient à une activité manuelle de précision.

Pour certains auteurs (Iizuka 1976 ; Alt and Türp 1998 ; Evensen and Øgaard 2007 ; Sousa de Souza *et al.* 2015), les malpositions et surtout les rotations dentaires sont interprétées comme un trait héréditaire. Sur les trois individus de notre étude, deux présentent des anomalies dentaires : Qafzeh 9 et 25. L'incisive latérale supérieure gauche de Qafzeh 9 est en position retroalvéolaire (Vandermeersch 1981 ; Tillier 2007) et la deuxième prémolaire mandibulaire gauche de Qafzeh 25 présente une rotation disto-buccale (Schuh *et al.* 2017). Dans les deux cas, ces anomalies étaient présentes du vivant des individus et n'ont pas été affectées par la taphonomie. Qafzeh 9 et 10 possèdent tous deux leur incisive latérale supérieure gauche en position retroalvéolaire. Ces traits sont également considérés par d'autres auteurs (e.g. Ackermann 2010 et Ackermann *et al.* 2019) comme un signe d'hybridation. Les auteurs citent spécifiquement les fossiles de Qafzeh comme potentiels hybrides tout comme Skhul IV et V. Cependant, les individus de Qafzeh ne présentent aucune autopomorphie néanderthaliennne (Vandermeersch, 1981 ; Tillier 1999), comme il pourrait être attendu en cas d'hybridation. Par ailleurs, comme vu précédemment, les malpositions et rotations dentaires peuvent également s'expliquer par des traits héréditaires. Les seules études ayant identifié des individus qualifiés « d'hybrides » (Slon *et al.* 2018) sont basées sur des analyses paléogénétiques, les données morphologiques ne suffisant pas à mettre ce statut en évidence.

Le site de Qafzeh est donc exceptionnel du point de vue paléopathologique en raison de la présence de pathologies rares du développement mais aussi de pathologies traumatiques et dentaires. La paléoimagerie a permis de découvrir de nouvelles atteintes pour la tête osseuse de

Qafzeh 9. L'application de ces techniques au reste du squelette pourrait révéler de nouvelles pathologies ou confirmer des diagnostics précédemment évoqués (e.g. fracture probable du calcaneus, Arensburg *et al.* 2006). Une extension de ce type d'étude à d'autres individus du site et même au-delà est également nécessaire pour une meilleure connaissance de l'état de santé des populations moustériennes au Proche-Orient.

## **5. Variabilité au Levant**

### **5.1. Variabilité intra-site à partir des données issues des mandibules**

Les mandibules de Qafzeh 9 et Qafzeh 25 sont très différentes l'une de l'autre. Cela s'observe à la fois sur les données brutes et les comparaisons deux à deux des variables mais également sur les ACP. Il s'agit de différences dues à la fois à la conformation des mandibules (largeurs notamment) et à la robustesse (épaisseurs). La variation au sein du site de Qafzeh est plus importante que pour les autres sites. Ainsi, les données morphométriques des mandibules de Skhül IV et V sont relativement semblables et se situent donc à proximité l'une de l'autre sur l'ACP. C'est le cas également des mandibules de Shanidar. Seules les mandibules de Tabūn présentent une variabilité similaire à celle de Qafzeh, mais ces deux fossiles sont sujets à des discussions sur leur attribution taxinomique (et leur datation respective) comme vu précédemment.

La variabilité intéressant les mandibules de Qafzeh semble donc confirmer les différences observées sur la morphologie générale des crânes notamment ceux de Qafzeh 6, 9 et 25.

### **5.2. Variabilité inter-sites à partir des données issues des mandibules et du labyrinthe osseux**

#### ***La mandibule***

En ce qui concerne la morphologie des mandibules, les ACP ont mis en évidence deux groupes principaux. L'un est composé des mandibules dites « anatomiquement modernes » et un autre composé des mandibules « archaïques ». Les différences se situent principalement au niveau de l'orientation des branches dans deux des trois plans de l'espace. Une analyse incorporant plus de mandibules moustériennes (et plus anciennes) est nécessaire avant de pouvoir tirer des conclusions sur ces différences et comprendre si l'une de ces morphologies représente un caractère plésiomorphe, un caractère dérivé ou un caractère propre au groupe.

Contrairement à ce qui peut s'observer sur le labyrinthe osseux, il semblerait qu'une rupture nette existe entre les deux groupes. Il convient néanmoins de nuancer cette observation en raison d'un échantillon plus restreint et incorporant des individus différents de l'analyse portant sur l'oreille interne (Shanidar et Tabūn II).

### ***Le labyrinthe osseux***

L'étude du labyrinthe osseux de tous les fossiles de Qafzeh a confirmé une proximité biologique avec les fossiles de Skhūl. Les individus des deux sites se situent à proximité sur les ACP et présentent des valeurs pour les différentes variables proches.

De manière plus surprenante, cette analyse révèle sur les ACP, des rapprochements entre Kébara 1 et notamment Qafzeh 25. Il convient d'être prudent sur ce rapprochement, en effet, en comparant les variables individuellement, nous ne trouvons pas de valeurs proches entre ces deux spécimens. Néanmoins, le positionnement et la mosaïque de caractères visibles sur Kebara 1 repose la question de son attribution phylogénétique. Plus globalement, l'absence de rupture biologique nette entre les fossiles dit « archaïques » et les fossiles modernes ainsi que la grande variabilité au sein même du site de Qafzeh repose la question de la diversité biologique au Paléolithique moyen au Levant.

Par ailleurs, les fossiles de Qafzeh se rapprochent également de fossiles chinois (Liujiang, Hexian et Xuchang 2) et africains (Dar-es-Soltane H5-II). Une proximité morphologique entre le fossile de Dar-es-Soltane et ceux de Qafzeh a déjà été mise en évidence sur des caractères morphométrique crâniens (Harvati et Hublin, 2012). De plus, une étude sur plusieurs fossiles africains (Eyasi I, Broken Hill et Kabua I) est actuellement menée par une équipe allemande (Reyes-Centeno, com. pers.). Les résultats de cette analyse et la comparaison avec les fossiles de Qafzeh devraient apporter de nouvelles informations sur les relations entre les fossiles africains et levantins « contemporains ».

En ce concerne les fossiles chinois, la diversité morphologique de l'oreille interne est très importante mais elle s'explique aussi par des différences chronologiques et géographiques importantes. Comme vu précédemment, des études ont proposé des rapprochements biologiques entre plusieurs fossiles chinois et levantins (Shen *et al.* 2002 ; Liu *et al.* 2015 ; Athreya et Wu 2017). Notre étude semble confirmer les proximités biologiques entre Qafzeh et Liujiang, ce qui a été précédemment mis en évidence (Shen *et al.* 2002).

## VII. Conclusions et perspectives

Situé au centre de l'ancien monde et au cœur du Paléolithique moyen, le site de Qafzeh et les fossiles humains associés sont d'une importance capitale pour la compréhension des mécanismes évolutifs des hommes anatomiquement modernes et pour appréhender d'éventuelles interactions entre les groupes humains contemporains peuplant les trois continents. Les spécimens découverts à Qafzeh ont fait l'objet de nombreuses publications et sont régulièrement inclus dans les échantillons de comparaison d'études phylogénétiques. Les développements méthodologiques en paléoanthropologie ont toujours été très rapidement appliqués aux fossiles de Qafzeh afin d'extraire le maximum d'information de ces spécimens. Cependant et jusqu'ici, les études utilisant les techniques de la paléoimagerie ont été limitées à quelques études ponctuelles successivement sur Qafzeh 11, Amud 1 et Qafzeh 25 (Coqueugniot *et al.* 2014 ; Kondo *et al.* 2014; Schuh *et al.* 2017). Ce constat reste valable plus globalement pour les fossiles du Levant anciennement découverts. Pourtant, l'application de ces techniques sur ces quelques individus a démontré tout le potentiel de ce type d'études avec l'apport de nouvelles données inédites.

Notre travail doctoral confirme l'intérêt de l'utilisation de l'imagerie 2D et 3D en paléoanthropologie. Nos analyses apportent de nouvelles données portant sur de nombreux aspects, phylogénétique, paléopathologique, paléoauxologique, paléodémographique mais également des développements méthodologiques.

### ***Développements méthodologiques***

Le principal apport méthodologique de ce travail est la création d'une chaîne opératoire pour la restauration de fossiles à partir de modèles photogrammétriques. En effet, la restauration de Qafzeh 6 à partir d'une acquisition photogrammétrique était le premier travail utilisant ce type de données 3D. Les acquisitions à partir de CT-scan sont généralement préférées afin de pouvoir accéder aux structures internes, segmenter chaque fragment osseux et les manipuler indépendamment. La méthodologie mise en place dans le cadre de ce travail permet une rétrodéformation du fossile puis de retirer les parties physiques reconstruites (cire ou résine) grâce à des logiciels de création assistée par ordinateur (C.A.O). Depuis ce premier travail réalisé en 2016, d'autres études proposant des restaurations virtuelles ont été effectuées à partir de modèles photogrammétriques (e.g. Guyomarc'h *et al.* 2017).

Notre travail doctoral a aussi permis de mettre en avant les limites des restaurations 3D notamment à partir des méthodes utilisant les algorithmes de rétrodéformation (TPS). Sur la mandibule de Qafzeh 9, leur utilisation a, en effet, entraîné l'élongation des os et des dents créant ainsi un modèle virtuel s'éloignant de la morphologie réelle. Le choix de la technique du *mirror imaging* permet d'éliminer ce biais méthodologique mais celle-ci doit se faire en dernier lieu après les études descriptives lorsqu'elle entraîne la suppression d'une partie de l'os existant.

Le travail de restauration de la mandibule de Qafzeh 9 constitue une étape pour la restauration du maxillaire et du bloc crânio-facial du fossile. De plus, et malgré les limites actuelles, la restauration virtuelle de Qafzeh 6 ainsi que celle des mandibules de Qafzeh 9 et 25 représentaient un préalable pour toute tentative de restauration du crâne de Qafzeh 25.

### ***Paléopathologie et Paléoauxologie***

La paléoimagerie a révélé sur Qafzeh 9 des pathologies indétectables par des études classiques à la fois sur l'os et sur les dents, jusqu'ici inédites pour des fossiles anciens.

Si certaines des pathologies (fibrome non-ossifiant, défaut dentinaire prééruptif) auraient pu être détectées par une radiographie, ou du moins la lacune associée, seule l'observation des coupes micro-CT et de la reconstruction 3D a permis d'identifier toutes les caractéristiques des lésions et d'exclure une origine taphonomique. La paléoimagerie 3D est donc bien une méthode indispensable au diagnostic paléopathologique (Coqueugniot *et al.* 2010b).

Certes bénignes pour la plupart d'entre elles, ces pathologies apportent de nouvelles informations sur les processus de croissance concernant Qafzeh 9 et elles s'ajoutent aux pathologies précédemment détectées sur les spécimens du site (Tillier 1999 ; Tillier *et al.* 2001 ; Coqueugniot *et al.* 2014 ; Dutour et Tillier 2018). L'extension de ce type d'études aux fossiles immatures (ou non) du site, faciliterait une meilleure compréhension des processus de croissance au sein de ce groupe. Une étude comparative utilisant la même approche méthodologique avec des individus immatures issus d'autres sites du Levant permettrait de mener une investigation paléopathologique de même nature et de confirmer si le taux élevé de pathologies de la croissance est spécifique à Qafzeh.

Si la paléoimagerie révèle des pathologies inédites, elle peut également mettre en évidence des processus de croissance normaux peu connus. L'amincissement du diploé au niveau des insertions du muscle temporal en est un exemple. Une analyse d'une collection de référence

avec des individus d'âge et de sexe connus est nécessaire afin de mieux comprendre ce processus et éventuellement d'identifier à quel moment ce caractère apparaît et disparaît au cours du développement osseux. Cette caractéristique visible sur les individus immatures pourrait être liée au développement du splanchnocrâne, à la mise en place et aux changements de dentition au cours de la croissance. L'amincissement du diploé permettrait ainsi un renforcement des zones d'insertion musculaire.

### ***Paléobiologie et Paléodémographie***

La révision de l'identité biologique de Qafzeh 9 confirme le jeune âge de cet individu (entre 15 et 19 ans) et lui attribue un sexe masculin. La différence de robustesse entre les crânes de Qafzeh 9 et ceux de Qafzeh 6 et 25 ne peut donc plus s'expliquer par le dimorphisme sexuel mais par d'autres facteurs tels que l'âge, voire une origine différente pour le fossile.

Les analyses sur les mandibules révèlent également des différences morphométriques entre Qafzeh 9 et Qafzeh 25. Elles confirment les observations effectuées sur la morphologie globale du crâne.

Par ailleurs, ces analyses portant sur la mandibule mettent en évidence des différences entre le groupe de Qafzeh-Skhul-Tabun II avec les fossiles de Shanidar-Amud-Kebara et Tabun I concernant la morphologie de la branche. En effet, l'orientation des branches diffère dans deux plans entre ces deux groupes. Les mandibules du second groupe présentent ainsi une « extroversion » des processus condyliques et une verticalisation de la branche en vue latérale (angle M79 faible). A contrario, les mandibules du premier groupe (dont celles de Qafzeh) présentent une verticalisation des branches en vue frontale avec des processus condyliques au niveau du gonion. En revanche, l'angle M79 est élevé, entraînant une rotation horaire de la branche en vue latérale. Il serait intéressant d'étendre l'étude à des fossiles moustériens européens et sur des populations modernes afin de déterminer si ces caractéristiques sont propres aux fossiles levantins ou si l'une de ces morphologies se retrouve sur d'autres populations.

Les études sur le labyrinthe osseux peuvent apporter de nombreuses informations phylogénétiques et sur les relations possibles entre plusieurs groupes d'individus. En ce qui concerne les fossiles de Qafzeh, les analyses ont révélé une grande diversité au sein du site pour la morphologie de cette structure. Cette diversité contraste avec les observations prenant en

compte la présence de caractères discrets (Tillier 1999) et la paléopathologie. Cependant, elle conforte nos observations sur la morphologie générale des crânes des adultes et sur les différences entre les mandibules de Qafzeh 9 et 25.

Il semble aujourd'hui possible de déterminer le sexe des individus grâce à la morphologie de leur cochlée (Braga *et al.* 2019), cela ouvre de nombreuses perspectives à Qafzeh. En effet, l'estimation d'un sexe masculin pour les individus adultes Qafzeh 6 et 25 n'est fondée que sur l'observation des structures osseuses et sur la robustesse générale de leur crâne. Par ailleurs la réétude des os coxaux de Qafzeh 9 a démontré les limites de ce type d'études sur des fossiles anciens ayant subi des altérations post mortem. Ainsi l'application de la méthode développée par J. Braga sur Qafzeh 9 permettrait de proposer un sexe pour le fossile à partir d'une structure qui n'a pas subi de déformations, contrairement aux os coxaux ou au bloc cranio-facial. Enfin, son application aux nombreux fossiles immatures du site livrerait des informations essentielles pour des analyses paléodémographiques.

Notre étude a démontré tout l'intérêt d'une révision des fossiles de Qafzeh grâce aux techniques de la paléoimagerie. L'extension de ce type d'étude à d'autres fossiles du site pourrait compléter ce travail. Plus généralement, une révision globale des fossiles moustériens du Levant pourrait apporter de nouveaux éléments pour discuter de la diversité biologique observée au sein de ce groupe d'individus qui partagent une même culture matérielle mais morphologiquement divers et répartis sur une longue période chronologique.



## Bibliographie

Ackermann R.R., Arnold M.L., Baiz M.D., Cahill J. A., Cortés-Ortiz L., Evans B. J., Grant B. R., Grant P. R., Hallgrímsson B., Humphreys R. A., Jolly C. J., Malukiewicz J., Percival C. J., Ritzman T. B., Roos C., Roseman C. C., Schroeder L., Smith F. H., Warren K. A., Wayne R.K., Zinner D., 2019, Hybridization in human evolution: Insights from other organisms. *Evolutionary Anthropology*, pp.1–21.

Ackermann R., 2010, Phenotypic Traits of Primate Hybrids: Recognizing Admixture in the Fossil Record. *Evolutionary Anthropology* 19 pp.258-270.

Akazawa T, Muhesen S, Dodo Y, Kondo O., Mizoguchi Y., Abe Y., Nishiaki Y., Ohta S., Oguchi T., Haydal J., 1995 Neanderthal infant burial from the Dederiyeh cave in Syria. Volume coordonné par B. Vandermeersch. *Anthropologie du Proche-Orient, données récentes. Paléorient*, 21, pp.77–86

Akazawa T., Muhesen S., Ishida H., Kondo O., Griggo Ch., 1999, New Discovery of a Neanderthal Child Burial from the Dederiyeh Cave in Syria, *Paléorient*, 25, 2. pp. 129-142.

Akazawa T, Muhesen S (eds), 2003, *Neanderthal burials. Excavations of the Dederiyeh Cave, Afrin, Syria, International Research Center for Japanese Studies, Kyoto*, 394 p.

Allazzam S.M., Alaki S.M., El Meligy O.A., 2014, Molar incisor hypomineralization, prevalence, and etiology. *International Journal of Dentistry*, 2014, 234508

Almeida F., Bártolo P., Alves N., Almeida H., Ponce De León M., Zollikofer C., Pierson B., Serra P., Duarte C., Trinkaus E., Zilhão J., 2007, The Lapedo Child reborn: contributions of CT scanning and rapid prototyping for an Upper Paleolithic infant burial and face reconstruction: the case of Lagar Velho Interpretation Centre, Leiria, Portugal”. In *VAST 2007: Future Technologies to Empower Heritage Professionals: Short and Project Papers from Vast*, pp. 69–73.

AlQahtani S. J., Liversidge H. M., Hector M. P., 2010, Atlas of tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology* 142(3) pp.481-90

Alonso-Llamazares, C., Pablos, A., 2019, Sex estimation from the calcaneus and talus using discriminant function analysis and its possible application in fossil remains. *Archaeological and Anthropological Sciences*, pp.1-20.

Alt K.W., Turp J.C., 1998, Hereditary Dental Anomalies. In: Alt K.W., Rösing F.W., Teschler-Nicola M. (eds.), *Dental anthropology. Fundamentals, Limits and Prospects*: pp. 95-128. Wien, New York: Springer Verlag

Amano H., Kikuchi T., Morita Y., Kondo O., Suzuki H., Ponce de León M. S., Zollikofer C. P.E., Bastir, M., Stringer C., Ogihara N., 2015, Virtual reconstruction of the Neanderthal Amud 1 cranium. *American Journal of Physical Anthropology*, 158, pp.185–197

- Arensburg B., Duday H., Tillier A.-m., 2006. Approche paléopathologique de la sépulture double de Qafzeh (Israël). *Communication au colloque du Groupement des Paleopathologistes de Langue Française*, Lille, 25-26 mars 2006
- Arensburg B., Belfer-Cohen A., 1998, Sapiens and Neandertals: rethinking the Levantine Middle Paleolithic hominins. In: Akazawa T, Aoki K, Bar-Yosef O (eds) *Neandertals and modern humans in Western Asia*. Plenum Press, New York and London, pp. 311–322
- Arensburg, B. 2002. Human remains from Geula cave, Haifa. *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* 14: pp.141–148
- Athreya, S., Wu X., 2017, A multivariate assessment of the Dali hominin cranium from China: Morphological affinities and implications for Pleistocene evolution in East Asia. *American Journal of Physical Anthropology*, 164, 4, pp.679-701.
- Aufderheide A.C., Rodríguez-Martín C., 1998, *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*, Cambridge University Press, Cambridge, 498p.
- Avnimelech M., 1937, Sur les mollusques trouvés dans les couches préhistoriques et protohistoriques de Palestine. *Journal of the Palestine Oriental Society* 17, pp. 81-92.
- Baab K. L., McNulty K. P., Harvati K., 2013, Homo floresiensis contextualized: a geometric morphometric comparative analysis of fossil and pathological human samples. *PLoSOne* 8: e69119.
- Baker, O., Lee, O.Y.-C., Wu, H.H.T., Besra, G.S., Minnikin, D.E., Llewellyn, G., Williams, C.M., Maixner, F., O'Sullivan, N., Zink, A., Chamel, B., Khawam, R., Coqueugniot, E., Helmer, D., Le Mort, F., Perrin, P., Gourichon, L., Dutailly, B., Pálfi, G., Coqueugniot, H., Dutour, O., 2015. Human tuberculosis predates domestication in ancient Syria. Supplement issue: *Tuberculosis in Evolution*. 95, S4–S12.
- Bada JL. et Helfman PM., 1976, Application of amino-acid racemization in paleoanthropology and archaeology. *Colloque de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques IXe Congrès*. 1 pp. 39-62
- Bar Yosef O., 1989, Upper Pleistocene cultural stratigraphy in Southwest Asia. In: E. Trinkaus (Ed.): *The Emergence of Modern Humans. Biocultural adaptations in the later Pleistocene*, Cambridge University Press, Cambridge, pp.154-180
- Bar-Yosef, O., Vandermeersch, B., 1989, *Investigations in South Levantine Prehistory*, BAR Publishing, 350p.
- Bar-Yosef, O., Vandermeersch, B. Arensburg, A. Belfer-Cohen, P. Goldberg, H. Laville, L. Meignen, Rak Y., Speth J.D., Tillier A.-m., Weiner S., 1992, The Excavations in Kebara Cave, Mt. Carmel. *Current Anthropology* 33 (5) pp. 497-534
- Bar-Yosef, O., Pilbeam D.. 1993, Dating hominid remains. *Nature* 366 p.415.

- Bar-Yosef O., 2000, The Middle and Early Upper Paleolithic in Southwest Asia and neighbouring regions. In: Bar-Yosef O, Pilbeam D (eds) *The geography of Neandertals and modern humans in Europe and the Greater Mediterranean*. Peabody Museum 8, Harvard University, Cambridge, pp 107–56
- Bar-Yosef Mayer D.E., Vandermeersch B., Bar-Yosef O., 2009, Shells and ochre in Middle Paleolithic Qafzeh Cave, Israel: indications for modern behavior. *Journal of Human Evolution* 56, pp.307–314
- Bauer C.C., Harvati K., 2015, A virtual reconstruction and comparative analysis of the KNM-ER 42700 cranium. *Anthropologischer Anzeiger; Bericht Über Die Biologisch-Anthropologische Literatur*. 72, pp.129-40.
- Bailey J.S., Nikitakis N.G., Lopes M., Ord R.A., 2001, Non-ossifying fibroma of the mandible in a 6-year-old girl: a case report and review of the literature. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 59, pp.815–818. doi: 10.1053/joms.2001.24303
- Bayram M., Deeley K., Reis M.F., 2015, Genetic influences on dental enamel that impact caries differ between the primary and permanent dentitions. *European Journal of Oral Sciences*, 123, pp.327–334
- Been, E., Hovers, E., Ekshtain, R., Malinski-Buller, A., Agha, N., Barash, A., Mayer, D.E.B.-Y., Benazzi, S., Hublin, J.-J., Levin, L., Greenbaum, N., Mitki, N., Oxilia, G., Porat, N., Roskin, J., Soudack, M., Yeshurun, R., Shahack-Gross, R., Nir, N., Stahlschmidt, M.C., Rak, Y., Barzilai, O., 2017. The first Neanderthal remains from an open-air Middle Palaeolithic site in the Levant. *Scientific Reports*. 7, 2958.
- Belfer-Cohen A., Hovers E., 2010, Modernity, enhanced working memory, and the Middle to Upper Paleolithic record in the Levant. *Current Anthropology* 51, S167-S175.
- Benazzi, S., Fantini, M., De Crescenzo, F., Mallegni, G., Mallegni, F., Persiani, F., et al. (2009a). The face of the poet Dante Alighieri reconstructed by virtual modelling and forensic anthropology techniques. *Journal of Archaeological Science*, 36, 278-283.
- Benazzi, S., Stansfield, E., Milani, C., & Gruppioni, G. (2009b) Geometric morphometric methods for three-dimensional virtual reconstruction of a fragmented cranium: the case of Angelo Poliziano. *International Journal of Legal Medicine*, 123, 333-344.
- Benazzi, S., Bookstein, F.L., Strait, D.S., & Weber, G.W., 2011a A new OH5 reconstruction with an assessment of its uncertainty. *Journal of Human Evolution*, 61, pp. 75-88.
- Benazzi, S., Fiorenza, L., Kozakowski, S., & Kullmer, O. (2011b) Comparing 3D Virtual Methods for Hemimandibular Body Reconstruction. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 294, 1116-283 1125.

- Benazzi, S., & Senck, S. (2011) Comparing 3-Dimensional Virtual Methods for Reconstruction in Craniomaxillofacial Surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69, 1184-1194.
- Benazzi S., Gruppioni G., Strait D. S., Hublin J. J., 2014 Virtual reconstruction of KNM-ER 1813 Homo habilis cranium. *American Journal of Physical Anthropology*, 153, pp.154–160
- Berthon W., Rittemard Ch., Tihanyi B., Pálfi Gy., Coqueugniot H., Dutour O., 2015, Three-dimensional microarchitecture of enthesal changes: preliminary study of human radial tuberosity, *Acta Biologica Szegediensis* 59, 1, pp. 79-90.
- Bidmos M. A., Asala S. A., 2003, Discriminant function sexing of the calcaneus of the South African whites. *Journal of Forensic Science* 48, pp. 1213–1218.
- Bidmos M. A., Asala S. A., 2004, Sexual dimorphism of the calcaneus of South African Blacks. *Journal of Forensic Science*, 49, pp. 446–450.
- Binford S. R., 1966, Me'arat Shovakh (Mugharet eshShubbabiq), *Israel Exploration Journal*, 16, pp. 18-32
- Birkner R., 1978, *Normal radiologic patterns and variances of the human skeleton. An X-ray atlas of adults and children*. Urban & Schwarzenberg, München Baltimore
- Bouchud J., 1974. Etude préliminaire de la faune provenant de la grotte du Djebel Qafzeh près de Nazareth (Israël). *Paléorient*, 2, pp. 87-102
- Boutié P., 1989, Etude technologique de l'industrie Moustérienne de la grotte de Qafzeh (près de Nazareth, Israël). In: O. Bar Yosef & B. Vandermeersch (eds), *Investigations in South Levantine Prehistory: British Archaeological Reports International Series* 497, London, pp.213 – 229.
- Bourke s. J., 1998, Two human teeth from Ras El-Kelb. In Copeland L., Moloney N., (eds.) *The Mousterian site of Ras El-Kelb*, British Archaeological Reports International Series, 706, Oxford, pp. 68-72
- Bowers, L.M., Cohen, D.M., Bhattacharyya I., Pettigrew Jr J.C., Stavropoulos MF., 2013. The Non-ossifying Fibroma: A Case Report and Review of the Literature, *Head and Neck Pathology*, 7, pp. 203-210 <https://doi.org/10.1007/s12105-012-0399-7>
- Braga J., Samir C., Risser L., Dumoncel J., Descouens D., Thackeray J.F., Balaesque P., Oettlé A., Loubes J.-M., Fradi A., 2019, Cochlear shape reveals that the human organ of hearing is sex-typed from birth. *Scientific Reports*. 9, 10889
- Bräuer G., 1988, Osteométrie, In : R. Knussman dir., *Anthropologie : Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, Band1, Stuttgart, Éd. Gustav Fischer Verlag, pp. 160-232.

- Bretz W.A., Corby P.M., Melo M.R., Coelho M.Q., Costa S.M., Robinson M., 2006, Heritability estimates for dental caries and sucrose sweetness preference. *Archives of Oral Biology*, 5, pp.1156-1160.
- Brůžek, J., Vandermeersch, B., 1997, Reassessment of the sex of the Qafzeh 9 individual based on multivariate statistical analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, Supplement, 24, p. 84
- Brůžek, J., 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 117, pp.157-168.
- Brůžek J., Cunha E., Dutailly B., Murail P., Santos F., 2017, Validation and reliability of the sex estimation of the human os coxae using freely available DSP2 software for bioarchaeology and forensic anthropology, *American Journal of Physical Anthropology*, 164(2) pp. 440-449
- Cardoso H. F. V., 2007, Environmental effects on skeletal versus dental development: using a documented subadult skeletal sample to test a basic assumption in human osteological research. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, pp.223–233
- Cauvin J., Cauvin M.-C. et Stordeur D., 1979. Recherches préhistoriques à El Kowm (Syrie). Première campagne 1978. *Cahiers de l'Euphrate*, 2, pp.80-118
- Clark G.A., Coinman N.R., Hill J.B., Neeley M.P., Olszewski D.I., Peterson J.D., Schuldenrein J., 2017. Survey and Excavation of Stone Age Sites in Jordan's Wadi al-Hasa: 1979–2012. In: Bar-Yosef, O., Enzel, Y. (Eds.), *Quaternary of the Levant: Environments, Climate Change, and Humans*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 315–328.
- Colombo C., Coqueugniot H., Dutailly B., Desbarats P., Tillier A.-m., 2013, Nouvelles données sur l'édification des molaires et l'estimation de l'âge dentaire des enfants par imagerie médicale et 3D : apports et perspectives. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 25, pp.127-146.
- Colombo A., 2014. *La micro-architecture de l'os trabéculaire en croissance : variabilité tridimensionnelle normale et pathologique analysée par microtomodensitométrie* (Thèse de doctorat). Univ. Bordeaux, Anthropologie biologique.
- Colombo A., Coqueugniot H., Dutour O., Waters-Rist A., 2017. Trabecular bone microarchitecture analysis, a way for an early detection of genetic dwarfism? Case study of a dwarf mother's offspring. *International Journal of Paleopathology*. 20:65-71. doi: 10.1016/j.ijpp.2017
- Colombo, A., D'Ortenzio, L., Bertrand, B., Coqueugniot, H., Knüsel, C.J., Kahlon, B., Brickley, M., 2019. Micro-computed tomography of teeth as an alternative way to detect and analyse vitamin D deficiency. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 23, 390–395.
- Connet N., Boëda E. et Al Sakhel H., 2010, Umm El Tlel, une exceptionnelle stratigraphie du Paléolithique au Levant, *Archéopages*, HS2, pp.35-37

Copeland, L., 1978. The Middle Palaeolithic of Adlun and Ras el Kelb (Lebanon): First results from a study of the flint industries. *Paléorient*. 4, pp.33–57

Copes LE, 2012, *Comparative and Experimental Investigations of Cranial Robusticity in Mid-Pleistocene Hominins*. Ph.D Dissertation, Anthropology, Arizona State University.

Coqueugniot H., 1999, *Le crâne d’Homo sapiens en Eurasie : croissance et variation depuis 100 000 ans*. BAR International Series 822, Oxford, 198 p.

Coqueugniot H., Hublin J.J., Veillon F., Houet F., Jacob T., 2004, Early brain growth in Homo erectus and implications for cognitive ability, *Nature*, 431, pp. 299-302

Coqueugniot H., Weaver T.D., 2007, Brief communication: infracranial maturation in the skeletal collection from Coimbra, Portugal: New Aging Standards for Epiphyseal Union. *American Journal of Physical Anthropology*, 134 pp. 424–437

Coqueugniot H., Weaver T.D., Houët F., 2010a. A probabilistic approach to age estimation from infracranial sequences of maturation. *American Journal of Physical Anthropology*, 142 pp.655-664.

Coqueugniot H., Desbarats P., Dutailly B., Panuel M., Dutour O., 2010b. Les outils de l’imagerie médicale et de la 3D au service des maladies du passé. In : Vergnieux R. et Delevoie C., *Actes du Colloque Virtual Retrospect 2009*, Collection Archéovision, volume 4, Ausonius Editions, pp.177-180.

Coqueugniot H., Hublin J.-J., 2012. Age-related changes of digital endocranial volume during human ontogeny: Results from an osteological reference collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 147 pp. 312-318

Coqueugniot H., Dutour O., Arensburg B., Duday H., Vandermeersch B., Tillier A.-M., 2014. Earliest cranio-encephalic trauma from the Levantine Middle Palaeolithic : 3D reappraisal of the Qafzeh 11 skull, consequences of pediatric brain damage on individual condition and social care. *PLoS ONE*. 9, e102822.

Coqueugniot H., Dutailly B., Desbarats P., Boulestin B., PAP I., Szikossy I., Baker O., Montaudon M., Panuel M., Karlinger K., Kovács B., Kristóf L.A., Pálfi G., Dutour O. 2015. Three dimensional imaging of past skeletal TB: from lesion to process. *Tuberculosis*, 95, S73-S79

Coqueugniot H. , 2018. Logiciel MACROS ARCHEO :  
IDDN.FR.001.500008.000.S.P.2018.000.31230

Coqueugniot H., 2019, Handicap et compassion au Paléolithique : points de vue paléoanthropologiques. In : A. Froment et H. Guy (éds), *Archéologie de la santé – anthropologie du soin*, Editions La Découverte, Paris : pp.262-273.

- Cormack A. M., 1963, Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *Journal of Applied Physics*, 34 pp. 2722–2727.
- Cormack, A. M., 1964, Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. II. *Journal of Applied Physics*, 35 pp. 2908–2912
- Corruccini R. S., 1992, Metrical reconsideration of the Skhul IV and IX and Border Cave 1 crania in the context of modern human origins. *American Journal of Physical Anthropology*, 87, pp.433-445.
- Coutinho Nogueira D., Santos F., Courtaud P., Couture-Veschambre C., 2017, Le calcanéus Regourdou 2 : étude morphométrique comparative et discussion autour de sa place dans la variabilité des Néandertaliens, *Paléo*, 28, pp.71-89
- Coutinho Nogueira D., Coqueugniot H., Tillier A.-m., 2018, La microtomodensitométrie, nouvel outil d'analyse de fossiles humains anciennement découverts : l'exemple de Qafzeh 9, 1843emes Journées de la Société d'Anthropologie de Paris, Poitiers, 24-26 Janvier, 2018
- Coutinho Nogueira D., Dutailly B., Comte F., Vasil'iev A., Khokhlov A., Shvedchikova T., Berezina N., Buzhilova A., Dutour O., Coqueugniot H., 2019a “Gueule cassée” (facial injuries): a 3D paleotraumatology study and facial approximation of a Napoleonic soldier who died in 1812 at Königsberg during the Russian Campaign. *International Journal of Osteoarchaeology*, 29, 2, pp. 191-197
- Coutinho Nogueira D., Dutour O., Coqueugniot H., Tillier A.-m., 2019b, Qafzeh 9 mandible (ca 90–100 kyrs BP, Israel) revisited:  $\mu$ -CT and 3D reveal new pathological conditions, *International Journal of Paleopathology*, 26, pp.104-110, <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2019...>
- Couture C., 1998, Le fragment d'occipital d'Umm el Tlel (Syrie). *Actes du Colloque International «Préhistoire d'Anatolie. Genèse de deux mondes» ERAUL 85*, p. 775-784.
- Creed-Miles M, Rosas A, Kruszynski R., 1996, Issues in the identification of Neanderthal derivative traits at early post-natal ages. *Journal of Human Evolution*, 30, pp.147–53
- Darroch J.N., Mosimann J.E., 1985, Canonical and principal components of shape. *Biometrika* 72, pp.241–252
- Dastugue J., 1981, Pièces pathologiques de la nécropole moustérienne de Qafzeh. *Paléorient*, 7 pp.135–140
- Demirjian A., Goldstein H., Tanner J. M., 1973, A new system of dental age assessment. *Human Biology*, 45, pp.211–27.
- Dutailly B, Coqueugniot H, Desbarats P, Gueorguieva S, Synave R, 2009, 3D surface reconstruction using HMH algorithm. *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 2505-2508.

- Dutour O., 2011. *La paléopathologie*, Éditions du cths, Paris, 170p
- Dutour O., Tillier A.-M., 2018, L'enfant Qafzeh 10 (Israël) daté du Paléolithique moyen et le diagnostic d'un chondroblastome de l'épiphyse fémorale distale. *Paleo*, 29, p. 99-105
- Evensen J.P., Øgaard B., 2007, Are malocclusions more prevalent and severe now? A comparative study of medieval skulls from Norway. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131,6, pp.710 -716.
- Ferembach D., Schwidetzky I., Stloukal M., 1979, Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 6, 13 pp. 7-45.
- Franklin D., 2010 Forensic age estimation in human skeletal remains: current concepts and future directions. *Legal Medicine*, 12, pp.1–7
- Freyer D.W., Jelinek N., Minugh N., Smith F.H., Wolpoff M.H., non publié, *Upper Pleistocene human remains from Backova Dira Cave at Mladeč (Lautsch), Moravia: Burnt, trampled and ignored, they now return to haunt.*
- Freyer, D. W., Wolpoff M. H., Thorne A. G, Smith F. H., Pope G. G., 1993, Theories of modern human origins: The paleontological test. *American Anthropologist*, 95 pp.14–50.
- Freidline S. E., Gunz P., Janković I., Harvati K., Hublin J.J., 2012; A comprehensive morphometric analysis of the frontal and zygomatic bone of the Zuttiyeh fossil from Israel, *Journal of Human Evolution.*, 62, pp. 225-241
- Friedland G. W., Thurber B. D., 1996, The birth of CT, *American Journal of Roentgenology*, 167 p.1365
- García-Campos, C., Martín-Torres, M., Martín-Francés, L., Modesto-Mata, M., Martínez de Pinillos, M., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., 2019. Enamel and dentine dimensions of the Pleistocene hominins from Atapuerca (Burgos, Spain): A comparative study of canine teeth. *Comptes Rendus Palevol.* 18, pp.72–89.
- Garrod, D.A.E., 1930. Fouilles paléolithiques en Palestine, 1928-1929. *Bulletin de la Société préhistorique de France.* 151–160.
- Garrod, D. A. E. (1932). Report on Excavations in the Mugharet et-Tabūn. Oct.–Dec. 1932. Handwritten unpublished MS signed and dated 30 December 1932, in File 193, *Archives of the Israel Antiquities Authority*, Jerusalem.
- Garrod, D. A. E. 1933. *Letter to Gertrude Caton Thompson*, dated 22 January 1933. In Box 71 (Inventory no. 33432), Saint-Mathurin Archive, Fonds Suzanne Cassou de Saint-Mathurin, Bibliothèque du Musée des Antiquités Nationales, St Germain-en-Laye, France.
- Garrod, D.A.E., Bate, D.M.A., 1937. *The Stone Age of Mount Carmel*, Oxford: Clarendon Press. ed. 240p.



- Garrod, D.A.E., Bate, D.M.A., 1942. Excavations at the Cave of Shukbah, Palestine, 1928. *Proceedings of the Prehistoric Society*. 8, 1–20.
- Gisis, I., Bar-Yosef, O., 1974. New excavation in Zuttiyeh Cave, Wadi Amud, Israel. *Paléorient* Vol 2, n°1, pp.175–180.
- Godinho R. M., O'Higgins P, 2017, Virtual reconstruction of cranial remains: the H. Heidelbergensis, Kabwe 1 fossil. In: Thompson, Tim and Errickson, David, (eds.) *Human Remains*. Academic Press
- Gómez-Olivencia A., Barash A., García-Martínez D., Arlegi M., Kramer P., Bastir M., Been E., 2018, 3D virtual reconstruction of the Kebara 2 Neandertal thorax. *Nature Communications* 9: 4387
- Gorjanović-Kramberger D., 1906, *Der Diluviale Mensch von Krapina in Kroatien*, C. W. Kreidel Verlag, Wiesbaden
- Grine F.E., Gunz P., Betti-Nash L., Neubauer S., Morris A.G., 2010, Reconstruction of the Late Pleistocene human skull from Hofmeyr, South Africa. *Journal of Human Evolution*, 59, pp.1–15
- Groucutt H.S., Scerri E.M.L., Stringer C., Petraglia M.D., in Press, Skhul lithic technology and the dispersal of Homo sapiens into Southwest Asia, *Quaternary International* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.027>
- Grün, R., Stringer C. B., and Schwarcz H., 1991, ESR dating of teeth from Garrod's Tabun cave collection. *Journal of Human Evolution*, 20, pp. 231–48
- Grün R., Stringer C. B., 2000, Electron spin resonance dating and the evolution of modern humans. *Archaeometry* 33, pp. 153–99
- Grün R., Stringer C., McDermott F., Nathan R., Porat N., Robertson S., Taylor L., Mortimer G., Eggins S., McCulloch M., 2005, U-series and ESR analyses of bones and teeth relating to the human burials from Skhul. *Journal of Human Evolution*, 49, pp. 316–34
- Guipert, M.-A. de Lumley, A. Tuffreau, B. Mafart, 2011, A late Middle Pleistocene hominid: Biache-Saint-Vaast 2, north France *Comptes Rendus Palevol.*, 10 (1), pp. 21-33
- Guipert, G., de Lumley, M.-A., de Lumley, H., 2014, Restauration virtuelle d'Arago 21. *Comptes Rendus de Palevol.*, 13 (1) pp. 51–59
- Gunz P., Neubauer S., Maureille B., Hublin J.-J., 2011, Virtual Reconstruction of the Le Moustier 2 newborn skull. Implications for Neanderthal ontogeny. *Paleo*, 22 pp.155-172
- Guyomarc'h P., Dutailly B., Charton J., Santos F., Desbarats P., Coqueugniot H., 2014, Anthropological Facial Approximation in Three Dimensions (AFA3D): Computer-Assisted

Estimation of the Facial Morphology Using Geometric Morphometrics. *Journal of Forensic Science*, 59 pp.1502–1516.

Guyomarc'h P., Samsel M., Courtaud P., Mora P., Dutailly B., Villotte S., 2017, New data on the paleobiology of the gravettian individual L2A from Cussac cave (Dordogne, France) through a virtual approach, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16, pp.365-373.

Haas G., 1972, The microfauna of the Djebel Qafzeh cave. *Palaeovertebrata*, 5, pp. 261-270.

Harvati K. and Hublin J.-J. 2012, Morphological Continuity of the Face in the Late Middle and Late Pleistocene Hominins from Northwestern Africa: A 3D Geometric Morphometric Analysis In: J.-J. Hublin and S. P. McPherron (eds.), *Modern Origins: A North African Perspective, Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*, Springer Verlag, pp. 179-188 DOI: 10.1007/978-94-007-2929-2\_12

Harvati K., Nicholson Lopez E., 2016, A 3-D look at the Tabun C2 mandible. In: E. Hovers and A. Maron, eds. *Festschrift for Yoel Rak. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Series*, Springer: New York, pp. 203-213.

Hauser G., De Stefano G.F., 1989, *Epigenetic Variants of the Human Skull*. Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 301p.

Henry D.O., 2017. The Middle Palaeolithic of Southern Jordan. In: Bar-Yosef, O., Enzel, Y. (Eds.), *Quaternary of the Levant: Environments, Climate Change, and Humans*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 585–592.

Hershkovitz I., Speirs M. S., Frayer D., Nadel D., Wish-Baratz S., Et Arensburg B., 1993 Ohalo II H2 : A 19,000-year-old skeleton from a water-logged site at the Sea of Galilee, Israel, *American Journal of Physical Anthropology* 96, 3, p. 215-234.

Hershkovitz, I., Marder, O., Ayalon, A., Bar-Matthews, M., Yasur, G., Boaretto, E., Caracuta, V., Alex, B., Frumkin, A., Goder-Goldberger, M., Gunz, P., Holloway, R.L., Latimer, B., Lavi, R., Matthews, A., Slon, V., Mayer, D.B.-Y., Berna, F., Bar-Oz, G., Yeshurun, R., May, H., Hans, M.G., Weber, G.W., Barzilai, O., 2015. Levantine cranium from Manot Cave (Israel) foreshadows the first European modern humans. *Nature*. 520, 216.

Hershkovitz I., Weber G.W., Quam R., Duval M., Grün R., Kinsley L., Ayalon A., Bar-Matthews M., Valladas H., Mercier N., Arsuaga J.L., Martínon-Torres M., Bermúdez de Castro J.M., Fornai C., M.-F.L., Sarig R., May H., Krenn V.A., Slon V., Rodríguez L., García R., Lorenzo C., Carretero J.M., Frumkin A., Shahack-Gross R., Bar-Yosef Myer D.E., C.Y., Wu X., Peled N., Groman-Yaroslavski I., Weissbrod L., Yeshurun R., Tsatskin A., Zaidner Y., Weinstein-Evron M., 2018a. The earliest modern humans outside Africa. *Science*. 359, pp.456–459.

- Hershkovitz I., Duval M., Grün R., Mercier N., Valladas H., Ayalon A., Bar-Matthews M., Weber G.W., Quam R., Zaidner Y., Weinstein-Evron M., 2018b, Response to Comment on “The earliest modern humans outside Africa, *Science*, 362, pp. 6413
- Hovers E., Vandermeersch B., O. Bar-Yosef O., 1997. A Middle Palaeolithic engraved artefact from Qafzeh Cave, Israel. *Rock Art Research*, 14, pp. 79-87
- Hovers E., Ilani S., Bar-Yosef O., Vandermeersch B., 2003. An Early Case of Color Symbolism: Ochre Use by Modern Humans in Qafzeh Cave. *Current Anthropology* 44, n°4: 491-522.
- Hovers, E., Malinsky-Buller, A., Ekshtain, R., Oron, M. & Yeshurun, R., 2008 Ein Qashish— a new open air Middle Paleolithic site in northern Israel, *Journal of Israel Prehistoric Society*. 38, 7–40
- Hovers E., 2009, *The lithic assemblage of Qafzeh cave*, Oxford University Press Oxford, 320 p
- Hovers E., Belfer-Cohen A., 2013, On variability and complexity: lessons from the Levantine Middle Paleolithic. *Current Anthropology*, 54, (supplement 8), S337-3S57
- Hovers, E., Ekshtain, R., Greenbaum, N., Malinsky-Buller, A., Nir, N., Yeshurun, R., 2014. Islands in a stream? Reconstructing site formation processes in the late Middle Paleolithic site of ‘Ein Qashish, northern Israel. *Quaternary International* 331, 216–233.
- Howell F.C., 1951. The place of neanderthal man in human evolution. *American Journal Physical Anthropology*, 9, pp. 379-416
- Howell, F.C., 1958, Upper Pleistocene men of southwestern Asian Mousterian. In *Hundert Jahre Neanderthaler, Neanderthal Centenary 1856–1956*. Köln Graz: BöhlauVerlag, pp. 185–98.
- Howell, F. C., 1959, Upper Pleistocene stratigraphy and early man in the Levant. *Proc. American Philosophical Society*, 103, 1, pp.1-65
- Hublin, J. J., Tillier A. M., 1981, The Mousterian juvenile from Irhoud (Morocco): A phylogenetic interpretation,. In Stringer C. B., *Aspects of Human Evolution*, ed. London: Taylor and Francis, pp. 167–85
- Hublin J.J., Spoor F., Braun M., Zonneveld F., Condemi S., 1996, A late Neanderthal associated with Upper Paleolithic artefacts, *Nature*, 381, pp. 224-226
- Hublin, J. J., Ben-Ncer A., Bailey S.E., Freidline S.E., Neubauer .S, Skinner M.M., Bergmann I., Le Cabec A., Benazzi S., Harvati K., *et al.* 2017, New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of Homo sapiens. *Nature* 546, pp.289–292
- Iizuka A., 1976, The bilateral mesiopalatal rotation of the upper central incisors. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 84, pp.31-47.

- Introna F., Divella G., Campobasso C., Dragone M., 1997, Sex determination by discriminant analysis of Calcanei measurements. *Journal of Forensic Science*, 42, pp. 725–728.
- Joordens J.C.A., D’Errico F., Wesselingh F.P., Munro S., De Vos J., Wallinga J., Ankjærgaard C., Reimann T., Wijbrans J.R., Kuiper K.F., Mücher H.J., Coqueugniot H., Prié V., Joosten I., Van Os B., Schulp A.S., Panuel M., Van Der Haas V., Lustenhouwer W., Reijmer J.J.G., Roebroeks W., 2015. Homo erectus at Trinil used shells for tool production and engraving. *Nature*, 518 pp. 228-231.
- Jungers W. L., Minns R.J., 1979, Computed tomography and biomechanical analysis of fossil long bones, *American Journal of Physical Anthropology*, 50, 2, pp. 285-290
- Karakostis F. A. , Hotz G. , Tourloukis V., Harvati K., 2018, Evidence for precision grasping in Neandertal daily activities. *Science Advances*, 4 (9): eaat2369
- Keith, A., 1927. A report on the Galilee skull. In: *Researches in Prehistoric Galilee 1925-1926*. Turville Petre F., pp. 53–106.
- Keith, A. 1931. *New Discoveries Relating to the Antiquity of Man*. London: Williams & Norgate, 512 p
- Keith A., 1934, Preface in McCown, T.D., 1934, The oldest complete skeletons of Man (with a note by Sir Arthur Keith). *Bulletin of the American School of Prehistoric Research*, 10, pp.12–19
- Kennedy G.E., 1986, The relationship between auditory exostoses and cold water: a latitudinal analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 71(4) pp. 401–15.
- King J.F., Kinney A.C., Iacobellis S.F., Alexander T.H., Harris J.P., Torre P., 2010, Laterality of exostosis in surfers due to evaporative cooling effect. *Otology & Neurotology*, 31(2) pp.345–51. pmid:19806064
- Kranioti E. F., Holloway R., Senck S., Ciprut T., Grigorescu D., Harvati K., 2011, Virtual assessment of the endocranial morphology of the early modern European fossil calvaria from Cioclovina, Romania. *Anatomical Record*, 294, pp.1083–1092.
- Kondo O., Kudo D., Suzuki H., Ogihara N., 2014, Virtual Endocast of Qafzeh 9: A Preliminary Assessment of Right-Left Asymmetry. In: Akazawa T., Ogihara N., Tanabe H.C. and Terashima H. (eds.), *Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans, Volume 2. Cognitive and Physical Perspectives*., pp.183-190.
- Koepfel R., 1935, Das Alter der neuentdeckten Schädel von Nazareth, *Biblica*, 16, pp.58-73
- Le Tensorer J-M, Falkenstein V von, Le Tensorer H., et Muhesen S., 2011b, Hummal: a very long Paleolithic sequence in the steppe of Central Syria — Considerations on Lower Paleolithic and the beginning of Middle Paleolithic. In: Le Tensorer JM, Jagher R, Otte M (eds) *The Lower*

and Middle Paleolithic in the Middle East and neighbouring regions, *Basel Symposium (May 8–10, 2008)*. ERAUL 126, Liège, pp 235–248

Lewis A. B., Garn S. M., 1960, The relationship between tooth formation and other maturational factors. *Angle Orthodontist*, 30, pp.70–74.

Liversidge H. M., Herdeg B., Rösing F. W. 1998, Dental age estimation of non-adults. A review of methods and principles. In: Springer (ed) *Dental anthropology: fundamentals, limits and prospects*, pp 419–42

Liu W., Martinon-Torres M., Cai Y.J., Xing S., Tong H.W., Pei S.W., Sier M.J., Wu X.H., Edwards R.L., Cheng H., Li Y.Y., Yang X.X., Bermúdez de Castro J.M., Wu X.J., 2015. The earliest unequivocally modern humans in southern China. *Nature*, 526, (7575), pp.696–699.

Mann A.E. 1995, Modern Human Origins: Evidence from the Near East. *Paléorient* 21,2: pp.35-46.

Mardia K., Bookstein F., Moreton I., 2000, Statistical assessment of bilateral symmetry of shapes, *Biometrika*, 87, pp. 285-300.

Martin R., Saller K., 1956, *Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung*, Stuttgart, Éd. G. Fischer. 518 p.

McCown, T.D., 1934, The oldest complete skeletons of Man (with a note by Sir Arthur Keith). *Bulletin of the American School of Prehistoric Research*, 10, pp.12–19

McCown T.D., 1936, Mount Carmel man. *Bulletin of the American School of Prehistoric Research*, 12 pp.131–40

McCown, T., 1937. Mugharet Es-Skhūl. Description and excavations. In: *The Stone Age of Mount Carmel*. Garrod, D.A.E., Bate, D.M.A, pp. 91–107

McCown T.D., Keith A., 1939, *The Stone Age of Mount Carmel II: the fossil human remains from the Levallois-Mousterian*, Clarendon Press, Oxford, 390 p.

Mehri Turki I., 2014, Le fibrome non ossifiant mandibulaire : différences par rapport aux localisations orthopédiques et implications thérapeutiques. *Médecine Buccale Chirurgie Buccale*. 20, pp.185–188

Meindl R. S., Lovejoy C. O., 1985, Ectocranial Suture Closure: A Revised Method for the Determination of Skeletal Age at Death Based on the Lateral-Anterior Sutures. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 57-66.

Mercier N., Valladas H., Bar-Yosef O., Vandermeersch B., Stringer C., Joron J.-L., 1993, Thermoluminescence Date for the Mousterian Burial Site of Es-Skhul, Mt.Carmel, *Journal of Archaeological Science*, 20, pp. 401-409

- Mercier N., Valladas H., Froget L., Joron J.-L., Reyss J.-L., Weiner S., Goldberg P., Meignen L., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A., Chech M., Kuhn S.L., Stiner M.C., Tillier A.-M., Arensburg B., Vandermeersch B., 2007, Hayonim Cave: a TL-Based Chronology for this Levantine Mousterian Sequence. *Journal of Archaeological Science*, 34 pp.1064-1077.
- Meyer V., Bruzek J., Couture-Veschambre C., Madelaine S., Maureille B., 2011, Un nouveau bassin néandertalien : description morphologique des restes pelviens de Regourdou 1 (Montignac, Dordogne, France). *Paleo*, 22, p. 207-222.
- Moskovitz, M. and Smith, P., 2005, The taxonomic affinity of the Tabun C2 mandible as assessed from estimates of biomechanical loading. *Journal of the Israel Prehistoric Society* 35, pp.425-438
- Molist M., Cauvin M.-C. et Taha A., 1990.- Le gisement d'Umm El Tlel-2 (El Kowm, Syrie): rapport préliminaire des travaux. *Annales archéologiques arabes syriennes*, 37/38 (1987-88), pp.67-77
- Moorrees C.F.A., Fanning E.A., Hunt E.E., 1963, Age Variation of Formation Stages for Ten Permanent Teeth. *Journal of Dental Research*. 42, pp.1490–1502.
- Murail P., Bruzek J., Houët F., Cunha E., 2005, DSP : a probabilistic sex diagnosis tool using worldwide variability in hip bone measurements. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 1.17, 3-4 pp.167-176
- Neubauer S., Gunz P., Mitteroecker P., 2004, Three-dimensional digital imaging of the partial *Australopithecus africanus* endocranium MLD 37/38. *Canadian Association of Radiologists journal*, 55, pp. 271– 278
- Neuville R., 1933, Les dernières phases de l'âge de la pierre et les premiers temps historiques en Palestine, *Biblica* 14, pp. 199 - 211
- Neuville R., 1951, *Le Paléolithique et le Mésolithique du désert de Judée*. Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine Paris : Masson.
- Nicault C., 2001, Le CNRS dans l'« Orient compliqué ». *La revue pour l'histoire du CNRS*, pp.24–35.
- Opal S., Garg S., Jain J., Walia I., 2015, Genetic factors affecting dental caries risk, *Australian Dental Journal*, 60 pp. 2–11, doi: 10.1111/adj.12262
- Ortner D.J., 2003, *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*, Academic Press, 645p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-528628-2.X5037-6>
- Perrot J., Parrot A., 1952, Nécrologie René Neuville, *Syria. Archéologie, art et histoire*, 29, 3, 4, pp.409-411

- Ponce De León M.S., Zollikofer C.P.E., 1999, New evidence from Le Moustier 1: Computer-assisted reconstruction and morphometry of the skull, *The Anatomical Record*, 254, 4, pp. 474-489.
- Ponce de León, M.S., Golovanova, L., Doronichev, V., Romanova, G., Akazawa, T., Kondo, O., Ishida, H., Zollikofer, C.P.E., 2008. Neanderthal brain size at birth provides insights into the evolution of human life history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 105, 13764.
- Posth, C., Wissing, C., Kitagawa, K., Pagani L., van Holstein L., Racimo F., Wehrberger, K., Conard, N.J., Kind, C.J., Bocherens, H., and Krause, J. 2017, Deeply divergent archaic mitochondrial genome provides lower time boundary for African gene flow into Neanderthals, *Nature Communications*, 8: 16046.
- Quam R., Smith F.H., 1998, Reassessment of the Tabun C2 mandible. In: Akazawa, T., Aoki, K., Bar-Yosef, O. (Eds.), *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*. Plenum Press, New York, pp. 405-421.
- Rabinovich R., Bar-Yosef O., Vandermeersch B., Horwitz L.K., 2004, Hominid-Carnivores interactions in the Paleolithic site of Qafzeh cave, Israel. *Revue de Paléobiologie*, 23 pp. 627-637.
- Rak, Y. 1990. On the differences between two pelvises of Mousterian context from the Qafzeh and Kebara caves, Israel. *American Journal of Physical Anthropology*, 81, pp. 323–332
- Rak Y., Kimbel W.H., Hovers E., 1994, A Neanderthal infant from Amud cave, Israel. *Journal of Human Evolution*, 26, pp.313–24
- Rak Y., 1998, Does any Mousterian cave present evidence of two hominin species? In: Akazawa T, Aoki K, Bar-Yosef O (eds) *Neandertals and modern humans in Western Asia*. Plenum Press, New York and London, pp 353–66
- Rak, Y., 2017, A Hominid ‘Archetype. In Y. Enzel & O. Bar-Yosef (Eds.), *Quaternary of the Levant: Environments, Climate Change, and Humans*, Cambridge: Cambridge University Press pp. 601-606. doi:10.1017/9781316106754.066
- Rink W. J., Schwarcz H. P., Weiner S., Goldberg P., Meignen L. Bar-Yosef O., 2004, Age of the Mousterian Industry at Hayonim Cave, Northern Israel, Using Electron Spin resonance and 230Th/234 U Methods. *Journal of Archeological Science* 31, pp. 953-964.
- Rios L., Kivell T.L., Lalueza-Fox C., Estalrich A., García-Tabernero A., Huguet R., Quintino Y., de la Rasilla M., Rosas A., 2019, Skeletal anomalies in the Neanderthal family of El Sidron (Spain) support a role of inbreeding in Neanderthal extinction. *Scientific Reports*, 9 p. 1697

- Rittermard C., Dutour, O., Coqueugniot, H., 2017 3D reconstructions of cortical canal network is an efficient method to differentiate human from animal fragmentary bones. *American Journal Physical Anthropology*, 162, issue S64 p. 333.
- Rittermard, C., Colombo, A., Desbarats, P., Dutailly, B., Dutour, O., Coqueugniot, H., 2019. The periosteum dilemma in bioarcheology: Normal growth or pathological condition? – 3D discriminating microscopic approach. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 24, pp. 236–243.
- Rosas A., Ríos L., Estalrich A., Liversidge H., García-Tabernero A., Huguet R., Cardoso H., et al. 2017, The Growth Pattern of Neandertals, Reconstructed from a Juvenile Skeleton from El Sidrón (Spain), *Science* 357 (6357): 1282–1287. American Association for the Advancement of Science. doi: 10.1126/science.aan6463.
- Rosenberg K., 1986, *The functional significance of Neandertal pubic morphology*, thèse de doctorat, University of Michigan, 237 p.
- Rosenberg K., 1988, The functional significance of Neandertal pubic length. *Curent Anthropology*. 29, 595–617.
- Sarig R., Slon V., Abbas J., May H., Shpack N., Vardimon A.D., Hershkovitz I., 2013, Malocclusion in Early Anatomically Modern Human: A Reflection on the Etiology of Modern Dental Misalignment. *PLoS ONE* 8(11), e80771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080771>
- Sarig R., Tillier A.-m., 2014, Reconstructing cultural behavior from dental wear studies: is para-facets analysis approach scientifically valid ? *Homo. Journal of Comparative Human Biology*, 65, pp. 181-186.
- Scherf, H., Wahl, J., Hublin, J.-J., Harvati, K., 2016, Patterns of activity adaptation in humeral trabecular bone in Neolithic humans and present-day people. *American Journal Physical Anthropology*, 159, pp. 106–115. doi:10.1002/ajpa.22835
- Sharp W. D., Paces J. B., 2018, Comment on “The earliest modern humans outside Africa”, *Science*, 362, Issue 6413, eaat6598
- Shen,G.J., Wang W., Wang Q., Zhao J.X., Collerson K., Zhou C.L., Tobias P.V., 2002. U-Series dating of Liujiang hominid site in Guangxi, Southern China. *Journal of Human Evolution*, 43, pp. 817-829.
- Schick T. et Stékélis M., 1977, Mousterian assemblages in Kebara Cave, Mount Carmel. *Eretz Israel*, 13 pp. 97-150
- Schmitt A., 2005, Une nouvelle méthode pour estimer l'âge au décès des adultes à partir de la surface sacro-pelvienne iliaque, *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 17 (1-2) pp. 89-101



- Schultz A. H., 1930, The skeleton of trunk and limbs of higher primates. *Human biology*, 2, p. 303 - 348.
- Schuh A., Dutailly B., Coutinho Nogueira D., Santos F., Arensburg B., Vandermeersch B., Coqueugniot H., Tillier A.-M., 2016. La mandibule de l'adulte Qafzeh 25 (Paléolithique moyen, Basse Galilée). Reconstruction virtuelle 3D et analyse morphométrique. *Paléorient*, 43, n°1, 49–59.
- Schwarcz H, Grün R, Vandermeersch B, Bar Yosef O., Valladas H., Tchernov E., 1988, ESR dates for the hominid burial site of Qafzeh in Israel, *Journal of Human Evolution*, 17, 8, pp.733-738
- Schwarcz H. et Rink W.J., 1998 Progress in ESR and U-series Chronology of the Levantine Paleolithic. In: Akazawa T., Aoki K. et Bar-Yosef O. (eds.) Neandertals and Modern Humans in Western Asia, Plenum. Press, New York and London, pp.57-67.
- Schwartz, J. H., Tattersall I., 2010, Fossil Evidence for the Origin of Homo sapiens. *American Journal of Physical Anthropology*, 143, Suppl. 51, pp.94–121.
- Smith, P. et Arensburg, B. 1977. A mousterian skeleton from Kebara cave. *Eretz-Isr.* 13, pp.164–176
- Smith F. H., Falsetti A. B., Donnelly S. M., 1989, Modern human origins. *Yearbook of Physical Anthropology*, 32 pp. 35–68
- Sognaes R.F. 1956, Histologic Evidence of Developmental Lesions in Teeth originating from Paleolithic, Prehistoric, and Ancient Man. *American Journal of Pathology*, 32, pp.547-577
- Sohn S., Wolpoff M.H., 1993, Zuttiyeh face a View from the East. *Journal of Physical Anthropology*, 91, 3, pp.325-348.
- Sousa de Souza B., Monteiro Bichara L., Farias Guerreiro J., Cardoso Abdo Quintão C., Normando D., 2015, Occlusal and facial features in Amazon indigenous: An insight into the role of genetics and environment in the aetiology of dental malocclusion. *Archives of Oral Biology*, 60, 9, pp. 1177-1186
- Spoor F., 1993, *The comparative morphology and phylogeny of the human bony labyrinth*, Ph.D. Dissertation, Utrecht University
- Spoor F., Zonneveld F., 1995, Morphometry of the primate bony labyrinth: a new method based on high resolution computed tomography. *Journal of Anatomy*. 186 pp.271–286
- Steele D. G., 1976, The estimation of sex on the basis of Sex Assessment from Talus and Calcaneus 47 the talus and calcaneus. *American Journal of Physical Anthropology*, 45, pp. 581–588.

- Stiner M.C., 2005, *The Faunas of Hayonim Cave, Israel. A 200,000-Year Record of Paleolithic Diet, Demography and Society*. Cambridge, Mass.: American School of Prehistoric Research, Peabody Museum, Harvard University.
- Stringer C.B., Grün R., Schwarcz H., Goldberg P, 1989, ESR dates for hominid burial site of Es Skhul in Israel », *Nature*, pp.756-757
- Suzuki H. et Takai F. 1970 *The Amud Man and his Cave Site*. Tokyo: Academic Press of Japan, 440 p.
- Tchernov E., 1981, The biostratigraphy of the Middle East. In : J. Cauvin & P. Sanlaville (dirs.), *Préhistoire du Levant*, Coll. Intern. CNRS, n° 598, éd du CNRS, Paris, pp. 67-97.
- Tchernov E. 1998 The faunal Sequence of the Southwest Asian Middle Paleolithic in Relation to Hominid Dispersion Events. In: Akazawa T., Aoki K. et Bar-Yosef O. (eds.) *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*, Plenum. Press, New York and London pp.77-94.
- Tillier A.-m et Vandermeersch B., 1976, Les enfants moustériens de Qafzeh Israël) *Comptes Rendus l'Académie des Sciences de Paris*, 282 série pp.1097-1100
- Tillier A.-m., 1986, Quelques aspects de l'ontogenèse du squelette crânien des Néanderthaliens. Fossil Man — New Facts, New Ideas, *Anthropologie* (Brno), 2, pp. 207–216.
- Tillier A.-m., Arensburg B., Duday H. 1989, La Mandibule et les dents du Néanderthalien de Kebara (Homo 2), Mont Carmel, Israël. *Paléorient*, 15, n°2. pp. 39-58. DOI : <https://doi.org/10.3406/paleo.1989.4508>
- Tillier A.-m., 1995, Paléoanthropologie et pratiques funéraires au Levant méditerranéen durant le Paléolithique moyen : le cas des sujets non adultes. *Anthropologie du Proche-Orient, Données récentes. Paléorient*, 21 n°2, pp.63-76.
- Tillier A.-m., 1999, *Les enfants moustériens de Qafzeh. Interprétation phylogénétique et paléoauxologique*. Paris: Cahiers de Paléoanthropologie, CNRS Editions. 239 p.
- Tillier A.-m., Arensburg B., Duday H., Vandermeersch B., 2001, Brief communication: An early Case of Hydrocephalus, the Middle Paleolithic Qafzeh 12 Child (Israel). *American Journal of Physical Anthropology*, 114, pp.166-170
- Tillier A.-m., Arensburg B., Vandermeersch B., Chech M., 2003, New human remains from Kebara Cave (Mount Carmel). The place of the Kebara hominids in the Levantine Mousterian fossil record. *Paléorient*, 29, n°2. pp. 35-62.
- Tillier A.-m., Arensburg B., Duday H., Vandermeersch B., 2004, Dental Pathology, Stressful Events and Disease in Levantine Early Anatomically Modern Humans: Evidence from Qafzeh. In: Goren Inbar N. And Speth J.D. (eds.), *Human Paleoecology in the Levantine Corridor*: pp.135-148.

- Tillier A.-m., 2005, The Tabun I skeleton: a levantine Neanderthal? In: Kaufman D, Evron-Weinstein M (eds) *The Prehistory of the Eastern Mediterranean: studies presented to professor A. Ronen. Journal of the Israël Exploration Society* 35, pp.439–450
- Tillier A.-m., 2007, Naître et grandir en Europe au Paléolithique moyen. L'exemple des Néandertaliens. In : Vandermeersch B, Maureille B, éditeurs. *Les Néandertaliens. Biologie et cultures*. Paris, Editions du CTHS, p. 139-149
- Tillier A.-m., Arensburg B., Bružek J., 2008, Identité biologique des artisans moustériens de Kébara (mont Carmel, Israël). Réflexions sur le concept de Néanderthalien au Levant méditerranéen. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 20, pp. 33–58
- Tillier A.-m., Majó, T., 2008, L'enfant et la mort en Préhistoire. Les prémices de l'archéologie funéraire". En: Gusi, F., Muriel, S, Olària, C., coords.: *Nasciturus, infans, puerulus vobis mater terra*, pp. 574-591. Serie de Prehistòria i Arqueologia. Diputació de Castelló. Castellón.
- Tillier, A.-m., 2009, *L'homme et la mort : L'émergence du geste funéraire durant la Préhistoire*. Paris : CNRS Éditions, 186 p.
- Tillier A.-m., Arensburg B., Belfer-Cohen A., Vandermeersch B., 2011 Early Hominid Remains from Hayonim Cave (Israel) in the Context of the Late Middle and Upper Pleistocene record from the Near East. *Paléorient*, 37, n°2. pp. 47-63
- Tillier A.-m., 2014, New Middle Palaeolithic Hominin Dental Remains from Qafzeh, Israel. In: *Paléorient*, vol. 40, n°1. pp. 13-24
- Tillier A.-m., Arensburg B., 2017, Le Levant méditerranéen et les nomades moustériens : un territoire de confluence. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 29, pp.195–201.
- Thoma A., 1965 La définition des Néanderthaliens et la position des hommes de Palestine. *L'Anthropologie*, 69, pp.519–34
- Trinkaus E., 1983, *The Shanidar Neandertals*, Éd. Academic Press. 502 p.
- Trinkaus E., 1984 - Neandertal pubic morphology and gestation length. *Current Anthropology*, 4, p. 509-514. DOI : 10.1086/203173
- Trinkaus E., 1987, The Upper Pleistocene Human Molar from Me'arat Shovakh (Mugharet esh-Shubbabiq), Israel. *Paléorient*, 1987, 13, n°1. pp. 95-100.
- Trinkaus E., 1995, Near Eastern late archaic humans. *Paléorient* 21, pp. 9–23
- Trinkaus E., 2007, European early modern humans and the fate of the Neandertals, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 18, pp.7367-7372; DOI: 10.1073/pnas.0702214104

- Trinkaus E., Pinilla B., 2009, Dental caries in the Qafzeh 3 Middle Paleolithic Modern Human. *Paléorient*, 35, 1 pp.69-76.
- Trinkaus E., Samsel M., Villotte S., 2019, External auditory exostoses among western Eurasian late Middle and Late Pleistocene humans, *PLoS One*, 14, e0220464
- Trimbur D., 1998, Heurs et malheurs d'un consul de France à Jérusalem. *Bulletin du Centre de recherche français à Jérusalem*, pp.52–75.
- Turville Petre, F.A.J., 1927. *Researches in Prehistoric Galilee 1925-1926*, British School of Archaeology in Jerusalem. ed. London.
- Turville Petre, F.A.J., 1932, Excavations at the Cave Mugharet-el-Kebarah, Near Zichron Jakob, Palestine. *Man*, 32, pp. 20-20. doi:10.2307/2789774
- Urda M., Urbanová P., 2016, Three-dimensional documentation of Dolní Věstonice skeletal remains: can photogrammetry substitute laser scanning? *Anthropologie (Brno)* 54, 2, pp.109-118
- Valladas H., Joron J.-L., Valladas G., Arensburg B., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A., Goldberg P., Laville H., Meignen L., Rak Y., Tchernov E., Tillier A.-M., Vandermeersch B. 1987, Thermoluminescence dates for the Neanderthal burial site at Kebara in Israel, *Nature* 330: pp.159-160
- Valladas H., Reyss J.L., Joron J.L., Valladas G., Bar Yosef O., Vandermeersch B., 1988, Thermoluminescence dates for the Mousterian Proto-Cro-Magnons from Qafzeh Cave (Israel), *Nature*, 331, pp. 614-616.
- Valladas H., Mercier N., Joron J.-L., Reyss J.-L. 1998 GIF Laboratory Dates for Middle Paleolithic Levant. In: Akazawa T., Aoki K., Bar-Yosef O. (eds.) *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*, Plenum. Press, New York and London, pp. 69-76.
- Valladas H., Mercier N., Froget L., Hovers E., Joron J. L., Rak Y., 1999, TL dates for the Neandertal site of Amud cave, Israel. *Journal of Archaeological Science*, 26, pp. 182–93
- Vallois H.V., Vandermeersch B., 1972, Le crâne moustérien de Qafzeh (Homo VI). Étude anthropologique. *L'Anthropologie* 76, pp.71–96
- Vandermeersch B., 1966, Nouvelles découvertes de restes humains dans les couches Levallois-moustériennes du gisement de Qafzeh (Israël). *Comptes Rendus l'Académie des Sciences de Paris*. 262, D, pp. 1434-1436.
- Vandermeersch B., 1969a. Les nouveaux squelettes moustériens découverts à Qafzeh et leur signification. *Comptes Rendus l'Académie des Sciences de Paris*. 268, D, pp.2562-2565

- Vandermeersch B. 1969b Découverte d'un objet en ocre avec traces d'utilisation dans le Moustérien de Qafzeh (Israël). *Bulletin de la Société préhistorique française. Comptes rendus des séances mensuelles*, tome 66, n°5, pp. 157-158.
- Vandermeersch B., 1970, Une sépulture moustérienne avec offrandes découverte dans la grotte de Qafzeh. *Comptes Rendus l'Académie des Sciences de Paris 270 D*: pp.298–301.
- Vandermeersch B., 1981, *Les hommes fossiles de Qafzeh*, Cahiers de Paléanthropologie, CNRS Editions, Paris, 319 p.
- Vandermeersch B., 1991, La ceinture scapulaire et les membres supérieurs. In: Bar-Yosef O, Vandermeersch B (eds) *Le squelette moustérien de Kébara 2*. Éditions du CNRS, Paris, pp 157–78
- Vandermeersch B., 2002, The excavation of Qafzeh. Its contribution to knowledge of the Mousterian in the Levant. *Bull. Centre de recherche français de Jérusalem*, 10 pp. 65-70.
- Vandermeersch, B. 2007. Qafzeh, histoire des découvertes, *Bulletin du Centre de recherche français à Jérusalem*, 18, 8-19
- Vandermeersch B., Bar-Yosef O., 2017, Qafzeh Cave and Terrace In : Enzel Y., Bar-Yosef O. (eds), *Quaternary of the Levant : environments, climate change, and humans*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 251-253.
- Vanghi V., Frisia S., Borsato A., 2017, Genesis and microstratigraphy of calcite coralloids analysed by high resolution imaging and petrography. *Sedimentary Geology*, 359, pp.16-28.
- Vanhaeren M., d'Errico F., Stringer C., James S.L., Todd J.A., Mienis H.K., 2006, Middle Paleolithic shell beads in Israel and Algeria, *Science*, 312, pp.1785-1788.
- Vialet, A., Guipert G., He J., Feng X., Lu Z., Huang Y., Li T., Lumley (de) M.A., Lumley (de), 2010, H. The Homo erectus from the Yunxian and the Nankin Chinese sites. Anthropological improvements by using 3D virtual imaging technique. *Comptes Rendus Palevol*. 9, pp. 331-339.
- Waddell P. J., 2015, Expanded Distance-based Phylogenetic Analyses of Fossil Homo Skull Shape Evolution, *arXiv*, 1512.09115
- Walker P.L., Dean G., Shapiro P., 1991, Estimating age from tooth wear in archaeological populations. In: Kelley, M.A. and Larsen, C.S., Eds., *Advances in Dental Anthropology*, Wiley-Liss, Chichester, pp.13-31.
- Wang X., Shaffer J.R., Zeng Z., 2012b, Genome-wide association scan of dental caries in the permanent dentition. *BMC Oral Health*.12 pp 57.
- Wang X., Willing M.C., Marazita M.L., 2012a, Genetic and environmental factors associated with dental caries in children: the Iowa Fluoride Study. *Caries Res*. 46, pp.177–184.

- Weber G.W., Schäfer K., Prossinger H., Gunz P., Mitteröcker P., Seidler H., 2001, Virtual anthropology: the digital evolution in anthropological sciences. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 20, pp.69– 80.
- Weber G.W., Bookstein F.L., 2011, *Virtual Anthropology. A guide to a new interdisciplinary field*. Wien, New York: Springer Verlag
- Weaver T. D., Hublin J. J., 2009, Neandertal birth canal shape and the evolution of human childbirth, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 20 pp. 8151-8156; DOI: 10.1073/pnas.0812554106
- Wendell S., Wang, X., Brown, M., Cooper, M. E., DeSensi, R. S., Weyant, R. J., 2010, Taste genes associated with dental caries. *Journal of Dental Research*, 89, pp.1198–1202. doi: 10.1177/0022034510381502
- White T.D., 1986, Cutmarks on the Bodo Cranium: A Case of prehistoric defleshing. *American Journal of Physical Anthropology* 69, pp. 503-509
- White T. D., Toth N., 1989, Engis: preparation damage, not ancient cutmarks. *American Journal of Physical Anthropology*, 78, pp. 361-367.
- Wolpoff, M. H., 1975, Some aspects of human mandibular evolution,. In McNamara J. A., *Determinants of Mandibular Form and Growth*, Ann Arbor: University of Michigan Press pp. 1–64.
- Wolpoff M.H., 1980, *Paleoanthropology*. Knopf, New York; 379 p
- Wolpoff M.H., 1999, *Paleoanthropology*. New York: McGraw Hill Companies, 2nd edition. 878p.
- Wreschner E., 1967, The Geula Caves– Mount Carmel, *Quaternaria*, 9, pp.69-89.
- Wu, X.-J., Pei S. W., Cai Y.J, Tong H. W., Li Q., Dong Z., Sheng J. C., Jin Z. T., Ma D. D., Xing S., Li X. L., Cheng X., Cheng H., de la Torre I., Edwards R. L., Gong X. C., An Z. S., Trinkaus E., Liu W., 2019, Archaic human remains from Hualongdong, China, and Middle Pleistocene human continuity and variation, *PNAS*, 116, pp.9820–9824
- Zaidner Y., Centi L., Prevost M., Shemer M., Varoner O., 2018, An Open-Air Site at Neshar Ramla, Israel, and New Insights into Levantine Middle Paleolithic Technology and Site Use. In: Nishiaki Y., Akazawa T. (eds) *The Middle and Upper Paleolithic Archeology of the Levant and Beyond. Replacement of Neanderthals by Modern Humans Series*. Springer, Singapore pp. 11-33
- Zakhary G.M., Clark R.M., Bidichandani S.I., Owen W.L., Slayton R.L., Levine M., 2007, Acidic proline-rich protein Db and caries in young children. *Journal of Dental Research*, 86, pp.1176–1180.

Zanolli, C., Pan, L., Dumoncel, J., Kullmer, O., Kúndrát, M., Liu, W., Macchiarelli, R., Mancini, L., Schrenk, F., Tuniz, C., 2018. Inner tooth morphology of *Homo erectus* from Zhoukoudian. New evidence from an old collection housed at Uppsala University, Sweden. *Journal of Human Evolution*. 116, 1–13.

Zollikoffer C.P.E., Ponce De León M., Martin R.D., Stuckl P., 1995, Neandertal computer skulls. *Nature*, 375, pp. 283-285.

Zollikofer C.P.E., Ponce De León M.S., Martin R.D., 1998, *Evolutionary Anthropology*, 6, 41

Zollikofer C.P.E., Ponce De León M.S., 2005, *Virtual Reconstruction, A primer in Computed-Assisted in Paleontology and Biomedicine*, Éd. New York, Wiley, 340 p.

Zollikofer C.P.E., Ponce De León M.S., Liebermann D.E., Guy F., Pilbeam D., Likius A., Mackaye H.T., Patrick Vignaud P., Brunet M., 2005 Virtual cranial reconstruction of *Sahelanthropus tchadensis*. *Nature*, 434, pp. 755-759.

## Liste des Annexes

Annexe 1 : liste des individus inclus dans notre étude et provenant des collections de Lynn Copes (Copes 2012) et de la collection de la faculté de médecine de Strasbourg (Coqueugniot et Hublin 2012)

Annexe 2 : article n°1, Coutinho Nogueira D, Dutailly B, Comte F, Vasil'iev A, Khokhlov A, Shvedchikova T, Berezina N, Buzhilova A, Dutour O, Coqueugniot H, (2019) “Gueule cassée” (facial injuries) : a 3D paleotraumatology study and facial approximation of a Napoleonic soldier who died in 1812 at Königsberg during the Russian Campaign. International Journal of Osteoarchaeology, Vol 29, Issue 2, pp.191-197

Annexe 3: article n°2, Coutinho Nogueira D., Dutour O., Coqueugniot H, Tillier A.-m., 2019, Qafzeh 9 mandible (ca 90-100 kyrs BP, Israel) revisited:  $\mu$ -CT and 3D reveal new pathological conditions. International Journal of Paleopathology, 26, pp104-110

Annexe 4 : données métriques des labyrinthes osseux issues de Qafzeh et de notre échantillon de comparaison

Annexe 5 : résultats de l'ACP sur le labyrinthe osseux présentée dans l'article : Coutinho Nogueira D., Coqueugniot H., Santos F., Tillier A.-m., Qafzeh 25 bony labyrinth and its place within the Southwest Asian Middle Palaeolithic sample. Journal of Human Evolution.



Annexe 1 : liste des individus inclus dans notre étude et provenant des collections de Lynn Copes (Copes 2012) et de la collection de la faculté de médecine de Strasbourg (Coqueugniot et Hublin 2012)

Individu	Pays	Age	sexe	Amincissement
<b>collection Lynn Copes</b>				
Alaska 61	USA	adulte	I	Non
Alaska 64	USA	adulte	I	Non
Alaska 69	USA	adulte	I	Non
Alaska 70	USA	adulte	I	Non
Aus 226087	Australie	adulte	F	Non
Aus 226088	Australie	adulte	F	Non
GR 227805	Groenland	adulte	I	Non
GR 228477	Groenland	adulte	I	Non
GR 242687	Groenland	jeune adulte	M	Oui
GR 242690	Groenland	adulte	F	Non
GR 242691	Groenland	adulte	F	Non
GR 242693	Groenland	adulte	F	Non
GR 242729	Groenland	adulte	M	Non
SI 227456	Iles Salomon	adulte	M	Non
SI 227457	Iles Salomon	adulte	F	Non
SI 227458	Iles Salomon	adulte	M	Non
Java 225053	Indonésie	adulte	F	Non
Java 225055	Indonésie	adulte	F	Non
Java 225044	Indonésie	jeune adulte	M	Oui
Java 225046	Indonésie	adulte	M	Non
Java 225047	Indonésie	adulte	M	Oui
Java 225054	Indonésie	adulte	M	Non
Java 225099	Indonésie	jeune adulte	M	Oui
Java 225120	Indonésie	jeune adulte	I	Oui
NZ 205333	Nouvelle-Zélande	adulte	M	Non
NZ 205113	Nouvelle-Zélande	adulte	F	Non
NZ 205114	Nouvelle-Zélande	adulte	M	Oui
NB 225007	Papouasie	jeune adulte	I	Oui
NB 225128	Papouasie	adulte	I	Non
NB 226096	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226097	Papouasie	adulte	I	Non
NB 226098	Papouasie	adulte	I	Non
NB 226099	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226100	Papouasie	immature	I	Oui
NB 226101	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226102	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226103	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226104	Papouasie	immature	I	Oui
NB 226105	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226106	Papouasie	jeune adulte	I	Oui
NB 226107	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226108	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226109	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226110	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226111	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226112	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226113	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226114	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226115	Papouasie	adulte	M	Non
NB 226116	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226117	Papouasie	adulte	F	Non
NB 226118	Papouasie	adulte	M	Non
NB 227454	Papouasie	adulte	I	Non
NB 227459	Papouasie	adulte	I	Non
NB 227464	Papouasie	adulte	F	Non
NB 227465	Papouasie	adulte	I	Non
Papua 276076	Papouasie	adulte	F	Non
Tagalog 209304	Philippines	adulte	I	Non
BI 224793	Philippines	adulte	I	Non
PH 225129	Philippines	adulte	M	Non
PH 259353	Philippines	immature	F	Oui
PH 259354	Philippines	adulte	I	Non
PH 259358	Philippines	adulte	I	Non
<b>collection de Strasbourg</b>				
ST 1894-95-25	France	2 ans	F	Oui
ST 1903_4_19	France	2 ans	M	Oui
ST 1904_89_616	France	2 ans 3 mois	M	Oui
ST 1892-93-320	France	3 ans 7 mois	M	Oui
ST 1907_119	France	4 ans	M	Oui
ST 1902-03-46	France	5 ans 4 mois	M	Oui
1891_92_49	France	6 ans	M	Oui
1892_93_285	France	10 ans	M	Oui
1893_94_5	France	5 ans	M	Oui
1893_94_8	France	4 ans 6 mois	M	Oui

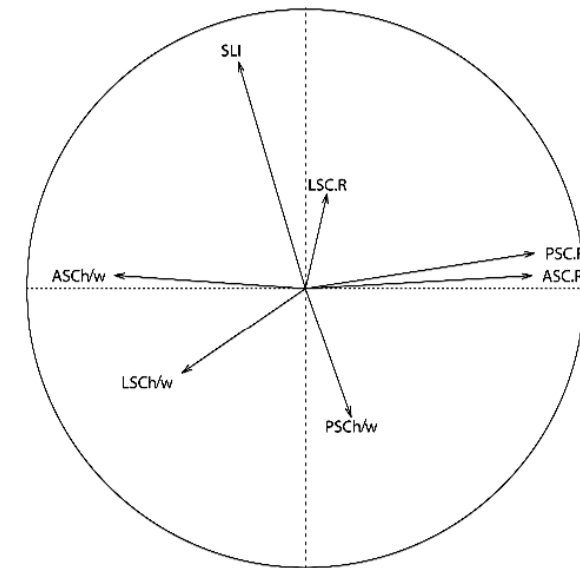
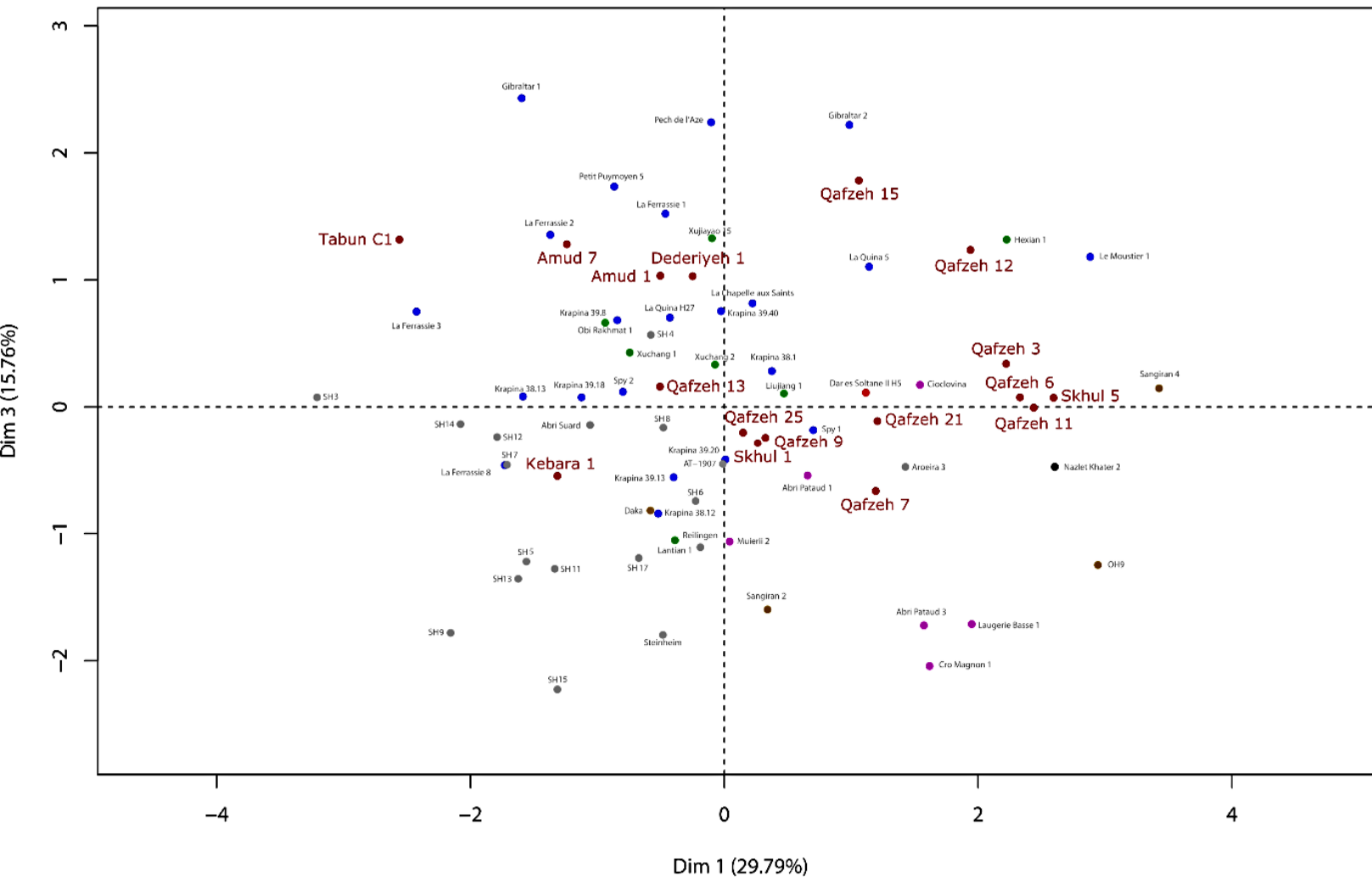
Annexe 4 : données métriques des labyrinthes osseux issues de Qafzeh et de notre échantillon de comparaison.

Id	Chrono	Pop	ASC-R	PSC-R	LSC-R	somme	Perc.ASC.R	Perc.PSC.R	Perc.LSC.R	ASCh/w	PSCh/w	LSCh/w	CO-R	Perc.SLI	ASCm_PSCm
Gibraltar 1	Neand	Paleo. moy. E	2,7	2,8	2,5	8	33,75	35	31,25	95	93	85	2,5	76	106
Gibraltar 2	Neand	Paleo. moy. E	3,2	3	2,6	8,8	36,36	34,09	29,55	85	100	84	2,1	74	114
La Chapelle au	Neand	Paleo. moy. E	3	2,9	2,5	8,4	35,71	34,52	29,76	88	99	85	2,3	60	113
La Ferrassie 1	Neand	Paleo. moy. E	3,3	2,6	2,6	8,5	38,82	30,59	30,59	93	92	91	2,4	65	114
La Ferrassie 2	Neand	Paleo. moy. E	2,9	2,7	2,7	8,3	34,94	32,53	32,53	97	98	91	2,4	65	103
La Ferrassie 3	Neand	Paleo. moy. E	2,9	2,5	2,3	7,7	37,66	32,47	29,87	101	87	94	2,2	61	101
La Ferrassie 8	Neand	Paleo. moy. E	2,96	2,51	2,58	8,05	36,77	31,18	32,05	102,05	106,37	91,99	2,12	52,46	
La Quina 5	Neand	Paleo. moy. E	3,2	3,1	2,9	9,2	34,78	33,7	31,52	87	108	93	2,2	63	108
La Quina H27	Neand	Paleo. moy. E	3	3	2,7	8,7	34,48	34,48	31,03	94	111	100	2,2	68	105
Le Moustier 1	Neand	Paleo. moy. E	3,4	3,4	2,7	9,5	35,79	35,79	28,42	84	98	83	2,5	55	107
Pech de l'Aze	Neand	Paleo. moy. E	3	2,9	2,8	8,7	34,48	33,33	32,18	89	93	88	2,3	68	98
Petit Puy moy	Neand	Paleo. moy. E	2,9	2,8	2,7	8,4	34,52	33,33	32,14	93	93	89	2,5	65	91
Spy 1	Neand	Paleo. moy. E	3,3	3,2	2,8	9,3	35,48	34,41	30,11	97	108	104	2,2	53	103
Spy 2	Neand	Paleo. moy. E	2,9	3	2,5	8,4	34,52	35,71	29,76	100	109	94	2,2	61	110
Arcy-sur-Cure	Neand	Paleo. sup. Eu	2,9	2,8	2,5	8,2	35,37	34,15	30,49					64	
Lantian 1	?	Paleo. moy. A	2,8	2,5	2,2	7,5	37,33	33,33	29,33	83,6	96,1	76,2	2,3	41,4	
Hexian 1	?	Paleo. moy. A	3,5	3,2	2,9	9,6	36,46	33,33	30,21	88,5	95,4	87,8	2,4	53,5	
Xujiayao 15	?	Paleo. moy. A	2,9	2,8	2,7	8,4	34,52	33,33	32,14	87,1	98,3	82,8	2,3	61,4	
Liujiang 1	?	Paleo. moy. A	3,2	2,6	2,7	8,5	37,65	30,59	31,76	80	89,1	91,2	2,2	45,5	
Xuchang 1	?	Paleo. moy. A	3,1	2,8	2,4	8,3	37,35	33,73	28,92	96,1	102,2	95,2		63,8	
Xuchang 2	?	Paleo. moy. A	2,95	3,15	2,4	8,5	34,71	37,06	28,24	95,5	98,45	92,4		57,25	
Obi Rakhmat	Neand	Paleo. moy. A	3,09	2,64	2,49	8,22	37,59	32,12	30,29	91,56	90,63	96,16		58,79	
Krapina 38.1	Neand	Paleo. moy. E	3	3	2,4	8,4	35,71	35,71	28,57	87	109	90		64	
Krapina 38.12	Neand	Paleo. moy. E	3	2,8	2,5	8,3	36,14	33,73	30,12	87	107	105		55	
Krapina 38.13	Neand	Paleo. moy. E	3	2,2	2,5	7,7	38,96	28,57	32,47	88	101	90		59	
Krapina 39.1	Neand	Paleo. moy. E	3,2		2,7					92		93			
Krapina 39.13	Neand	Paleo. moy. E	3	2,8	2,5	8,3	36,14	33,73	30,12	96	112	89		54	
Krapina 39.18	Neand	Paleo. moy. E	2,9	2,8	2,4	8,1	35,8	34,57	29,63	95	109	96		65	
Krapina 39.20	Neand	Paleo. moy. E	3	2,9	2,3	8,2	36,59	35,37	28,05	86	115	96		65	
Krapina 39.40	Neand	Paleo. moy. E	3,1	2,9	2,4	8,4	36,9	34,52	28,57	90	102	92		66	
Krapina 39.8	Neand	Paleo. moy. E	3	2,9	2,5	8,4	35,71	34,52	29,76	98	105	95		66	
Abri Pataud 1	moderne	Paleo. sup. Eu	3,2	2,8	2,4	8,4	38,1	33,33	28,57	84	106	92	2,3	54	111
Abri Pataud 3	moderne	Paleo. sup. Eu	3,4	3,1	2,7	9,2	36,96	33,7	29,35	96	118	93	2,4	39	98
Cro Magnon 1	moderne	Paleo. sup. Eu	3,1	3	2,5	8,6	36,05	34,88	29,07	80	118	91	2,6	41	112
Laugerie Bass	moderne	Paleo. sup. Eu	3,4	3,3	2,5	9,2	36,96	35,87	27,17	93	102	96	2,4	33	92
Cioclovina	moderne	Paleo. sup. Eu	3,5	3,1	2,6	9,2	37,8	33,9	28,4	90,4	102,7	95,8		54,9	
Muierii 2	moderne	Paleo. sup. Eu	3,18	3,13	2,4	8,7	37,8	33,9	28,4	98,44	108,33	104,26		51,7	
Lagar Velho 1	moderne	Paleo. sup. Eu	3	2,5	2,2	7,7	37,8	33,9	28,4	92	111			55	
Dederiyeh	Neand	Paleo. moy. L	3,2	3	2,7	8,9	35,96	33,71	30,34	103	107	93	2,3	65	115
Tabun C1	Neand	Paleo. moy. L	2,7	2,5	2,4	7,6	35,53	32,89	31,58	102	98	84	2	69	101
Kebara 1	Neand	Paleo. moy. L	2,85	2,62	2,36	7,83	36,4	33,46	30,14	94,08	113,01	91,56	2,43	60,4	
Amud 1	Neand	Paleo. moy. L	3,1	2,8	2,72	8,62	35,94	32,55	31,51	92,01	96,53	97,14	2,05	61,77	
Amud 7	Neand	Paleo. moy. L	2,91	2,74	2,58	8,23	35,37	33,29	31,34	90,64	93,5	97,99	2,19	66,85	
Qafzeh 6	moderne	Paleo. moy. L	3,6	3,1	2,8	9,5	37,89	32,63	29,47	91	105	87	2,5	47	109
Qafzeh 9	moderne	Paleo. moy. L	3,41	2,85	2,41	8,67	39,33	32,87	27,8	98,54	103,58	91,85	2,27	53,82	103,88
Qafzeh 25	moderne	Paleo. moy. L	3,18	2,98	2,36	8,52	37,33	35,02	27,65	100,91	106,52	86,04	2,12	54,35	
Qafzeh 3	moderne	Paleo. moy. L	3,66	2,94	2,38	8,98	40,81	32,73	26,46	91,5	99,15	75,93	2,41	50,88	102,75
Qafzeh 7	moderne	Paleo. moy. L	3,19	3,03	2,42	8,64	36,95	35,08	27,97	84,75	102,94	91,86	2,48	48,64	108,26
Qafzeh 11	moderne	Paleo. moy. L	3,44	3,21	2,13	8,78	39,15	36,6	24,25	84,03	108,28	82,45	2,55	60,31	105,35

Qafzeh 12	moderne	Paleo. moy. L	3,34	3,21	2,2	8,75	38,19	36,68	25,13	87,68	89,61	77,01	2,32	58,82	100,72
Qafzeh 13	moderne	Paleo. moy. L	3,02	2,69	2,24	7,95	37,99	33,84	28,17	97,89	95,99	76,15	2,32	52,18	109,66
Qafzeh 15	moderne	Paleo. moy. L	3,34	2,79	2,44	8,57	38,97	32,56	28,46	92,41	95,38	68,18	2,46	62,5	104,49
Qafzeh 21	moderne	Paleo. moy. L	3,32	3,08	2,53	8,92	37,19	34,48	28,33	91,14	105,88	91,67	2,26	53,74	103,36
Skhul 1	moderne	Paleo. moy. L	3,06	3,06	2,42	8,54	35,86	35,86	28,28	89,23	95,24	97,96	2,44	50,51	95,87
Skhul 5	moderne	Paleo. moy. L	3,2	3,1	2,6	8,9	35,96	34,83	29,21	72	88	82	2,7	40	107
Abri Suard	Pré-Neand	Pleistocene m	2,9	2,7	2,3	7,9	36,71	34,18	29,11	98	96	84	2,3	51	99
Reilingen	Pré-Neand	Pleistocene m	3,1	2,7	2,6	8,4	36,9	32,14	30,95	95	132	91	2,3	60	113
Steinheim	Pré-Neand	Pleistocene m	2,8	2,7	2,4	7,9	35,44	34,18	30,38	90	109	87	2,1	40	113
Biache Saint V	Pré-Neand	Pleistocene m	3,01	2,74	2,59	8,34	36,09	32,85	31,06	94,35	106,41	97,14			
Singa			3	3,1	2,3	8,4	35,71	36,9	27,38						
Nazlet Khater	moderne	Early Late Sto	3,6	3	2,5	9,1	39,5	32,5	28	82	96	86	2,3	41,5	
SH Cranium 3	Pré-Neand	Pleistocene m	2,7	2,5	2,3	7,5	35,9	33,5	30,6	103,9	88,4	99,1	2,1	56,4	
SH Cranium 4	Pré-Neand	Pleistocene m	3	2,8	2,7	8,5	35,4	32,9	31,7	93,5	105,1	93,6	2,3	60,9	
SH Cranium 5	Pré-Neand	Pleistocene m	2,9	2,4	2,3	7,6	37,6	31,5	30,7	89,2	102,7	96,2		50,4	
SH Cranium 6	Pré-Neand	Pleistocene m	3,1	2,7	2,7	8,5	36,5	31,5	32	94,8	111	90,7	2,5	48,2	
SH Cranium 7	Pré-Neand	Pleistocene m	3,1	2,6	2,5	8,2	37,6	32	30,3	100,5	105,1	104,9	2,2	58,2	
SH Cranium 8	Pré-Neand	Pleistocene m	3,1	2,9	2,7	8,7	35,9	33,2	30,9	98,7	96,6	98	2,3	47,3	
SH Cranium 9	Pré-Neand	Pleistocene m	2,9	2,6	2,4	7,9	36,5	33,2	30,3	107,2	100,2	98,8	2,3	38,6	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	2,7	2,6	2,6	7,9	34,3	32,9	32,8	94,5	108,1	88,7	2,1	42,7	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	2,9	2,6	2,4	7,9	37	33,2	29,8	100,5	99,2	93	2,3	54,3	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	2,8	2,6	2,4	7,8	36	33,5	30,5	89,9	101	103,8	2,3	47,9	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	2,7	2,5	2,4	7,6	35,6	33	31,4	95,5	93,9	89,1	2,1	51,7	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	3	2,6	2,3	7,9	38	33,1	28,9	93,3	95,5	105,7	2,1	36,1	
SH Cranium 1	Pré-Neand	Pleistocene m	2,8	2,6	2,3	7,7	35,8	34,3	29,9	87,3	104,2	85		46	
AT-1907	Pré-Neand	Pleistocene m	3,3	2,8	2,5	8,6	37,9	32,8	29,3	96,1	102,1	95,9	2,1	51	
Aroeira 3	Pré-Neand	Pleistocene m	3,2	3	2,5	8,7	36,5	34,6	28,9	79,7	98,2	92,7	2,3	47	
Daka	H. Erectus	Pleistocene m	3,05	2,6625	2,6875	8,4	36,31	31,7	31,99	90,625	102,857143	99,0740741	2,4	46,5	
OH9	H. Erectus	Pleistocene m	3,225	3,125	2,4	8,75	36,86	35,71	27,43	69,7368421	108,3333333	84,6153846	2,45	43	
Sangiran 2	H. Erectus	Pleistocene m	3,1	2,825	1,975	7,9	39,24	35,76	25	87,8787879	105,454546	88,0952381	2,35	48	
Sangiran 4	H. Erectus	Pleistocene m	3,175	3,3	1,95	8,43	37,69	39,17	23,15	73,9726027	112,903226	62,5	2,6	61	

Annexe 5 : résultats de l'ACP sur le labyrinthe osseux présentée dans l'article : Coutinho Nogueira D., Coqueugniot H., Santos F., Tillier A.-m., Qafzeh 25 bony labyrinth and its place within the Southwest Asian Middle Palaeolithic sample. Journal of Human Evolution.

Individuals factor map (PCA)



## RÉSUMÉ

---

Au Levant, le Paléolithique moyen (environ 200-50 Ka B.P.) correspond à une période cruciale pour la compréhension des mécanismes évolutifs et la dispersion des *Homo sapiens* hors d'Afrique. Le site de Qafzeh (Basse Galilée), au croisement des trois grandes aires géographiques de l'ancien monde, comprend des niveaux archéologiques chronologiquement situés au cœur de cette période ( $92 \pm 5$  ka BP). Il est exceptionnel en raison à la fois d'une riche documentation anthropologique comprenant des individus de toutes les classes d'âges (du périnatal à l'adulte) et de la présence de pratiques funéraires uniques (sépulture double, dépôt funéraire). Si de nombreuses études ont déjà été publiées sur cette documentation fossile, les progrès technologiques récents de la Paléoimagerie permettent d'extraire des données inédites. Ainsi grâce à des outils 2D (radiographies, coupes CT) et 3D (reconstructions virtuelles à partir de données photogrammétriques ou de [micro]CT-scan) des analyses sont réalisées sur la tête osseuse de trois individus (Qafzeh 6, 9 et 25). Deux types d'analyses sont menés : une étude morphométrique de structures internes (i.e. labyrinthe osseux) et une étude paléopathologique. L'examen de l'oreille interne dévoile ainsi une diversité inattendue pour la population présente à Qafzeh ; par ailleurs des rapprochements au sein des échantillons de comparaison, entre quelques individus classiquement considérés comme archaïques et d'autres modernes, se dégagent. L'étude paléopathologique, quant à elle, révèle sur Qafzeh 9 la présence de troubles de la croissance osseuse et dentaire, qui font écho aux anomalies du développement précédemment décrites sur des fossiles immatures du site. Ces données nous permettent de mieux appréhender la variabilité individuelle normale et pathologique documentée à Qafzeh et de replacer ces chasseurs-cueilleurs nomades dans le contexte plus large des groupes locaux et eurasiatiques associés au contexte archéologique Moustérien.

## MOTS CLÉS

---

Paléoanthropologie, Qafzeh, Paléoimagerie, Paléopathologie, Paléolithique moyen, Levant Sud

## ABSTRACT

---

In the Levant, the Middle Paleolithic (about 200-50 Ka B.P.) corresponds to a period of time that is crucial for understanding evolutionary mechanisms and the spread of *Homo sapiens* out of Africa. The Qafzeh site (Lower Galilee) located at the crossroads of the three major geographical areas of the Old World is rich of archaeological deposits dated to the middle of this time period ( $92 \pm 5$  ka BP). The site is exceptional both for its important anthropological documentation of all age groups (from perinatal to adults) and for unique funeral practices (double burial, funeral repository). While many studies have already been published on the human remains, recent technological advances in Paleoimaging permit new investigation and data improvement. Using 2D (radiographs, CT sections) and 3D (virtual reconstructions from photogrammetric data or [micro]CT-scan) tools, two types of analyses are conducted on the skull and mandible of three individuals (Qafzeh 6, 9 and 25): a morphometric study of internal structures (i.e. bony labyrinth) and a palaeopathological investigation. Examination of the inner ear of these Mousterian individuals brings evidence of an unexpected diversity within the overall Qafzeh sample; furthermore, among hominins of the comparative sample, similarities between few individuals classically considered as archaic and modern specimens are recognized. Bone and dental growth disorders are described on Qafzeh 9 that are consistent with developmental abnormalities previously identified on immature individuals from this site. The data collected illustrate the normal and pathological variability documented by the nomadic hunter-gatherers from Qafzeh, and in addition, to compare them with local and Eurasian groups associated to a Mousterian archaeological context.

## KEYWORDS

---

Paleoanthropology, Qafzeh, Paleoimaging, Paleopathology, Middle Paleolithic, Southern Levant