



Université
Perpignan
Via Domitia
CRÉATRICE D'AVENIRS DEPUIS 1350



Muséum national d'Histoire naturelle



**International Master in
Quaternary and Prehistory**

**Caractérisation morphométrique 2D et 3D des
mandibules humaines de la péninsule coréenne dans
la variation fossile des Hominines du Pleistocène à
nos jours**

Rédigé par Garance Cachard

Tutrice : Amélie Vialet

Année académique 2024/2025



Università
degli Studi
di Ferrara



Remerciements – 감사의 말.....	4
1. Introduction.....	6
2. Matériels	9
2.1. Sources écrites	9
2.2. Matériel d'étude.....	11
A. Sites archéologiques	11
a. Abri sous roche de Sangsi	11
b. Sites de Corée du Nord	14
c. Autres sites d'Asie.....	17
B. État de conservation et description du matériel	20
a. Abri sous roche de Sangsi	20
b. Sites de Corée du Nord	23
c. Autres sites d'Asie.....	24
2.3. Matériels de comparaison	25
A. Les hominines anciens d'Eurasie et d'Afrique	25
B. <i>Homo sapiens</i> actuels.....	28
C. Fossiles intégrés via la documentation scientifique.....	29
3. Méthodes.....	30
3.1. Analyse Morphologique	30
3.2. Analyse Métrique	32
A. Validation du protocole et reproductibilité des mesures	32
B. Variation métrique et résultat statistique	33
3.3. Morphométrie 3D	36
A. Photogrammétrie.....	36
B. Prétraitement des modèles 3D : fusion et mise à l'échelle	38
C. Acquisition des repères morphométriques	39
a. Sélection et conservation des spécimens.....	39
b. Définition et pose des repères morphométriques	39
c. Environnement logiciel et traitement des données.....	41
D. Traitements statistiques	42
a. Test intra observateur	42
b. Analyses morphométriques	42
4. Résultats	44
4.1. Analyse morphologique.....	44

4.2. Analyse métrique	46
A. Validation du protocole et reproductibilité des mesures	46
B. Variation métrique et résultat statistique	47
4.3. Analyse morphométrique 3D.....	57
A. Fiabilité des mesures morphométriques	57
B. Analyse morphométrique globale	59
C. Variations morphologiques mandibulaires	63
5. Discussion.....	68
5.1. Spécificités morphologiques des mandibules coréennes	68
5.2. Variation métrique	70
5.3. Apports de la morphométrie géométrique 3D	71
6. Conclusion	73
Tables des figures	76
Table des tableaux.....	78
Références.....	79
Références en coréen	85
Annexes.....	89
Résumé, Abstract et 국문초록	97

Remerciements – 감사의 말

Je souhaite avant tout exprimer ma profonde reconnaissance à ma directrice de mémoire, Amélie Vialet, pour son accompagnement, sa bienveillance et ses conseils tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique, sa disponibilité et l'attention qu'elle a portée à l'amélioration de mon mémoire ont été précieuses et m'ont permis de progresser avec confiance et sérénité.

Je tiens également à mentionner le soutien institutionnel du PHC STAR « First *Homo sapiens* in Korea » (Dir. Tae-Sop Cho, Amélie Vialet, 2025–2026), dans le cadre duquel cette recherche s'inscrit en partie.

Je remercie également Florent Détroit, Véronique Laborde et Liliane Huet pour leur précieuse aide dans l'accès aux collections et leur expertise, qui ont été déterminantes dans la constitution de mon corpus d'étude. Je tiens aussi à remercier l'Institut de Paléontologie Humaine (IPH) et Anna Echassoux, sa directrice, pour m'avoir permis l'accès aux collections anthropologiques.

Je remercie également Ameline Bardot pour son soutien logistique, ainsi que Cyril Planchand pour sa formation en photogrammétrie, qui m'a permis d'acquérir des compétences techniques précieuses. Mes remerciements vont aussi à Aurélien Mounier, Hugo Hautavoine pour leurs conseils en modélisation 3D et Floriane Rémy pour les cours en morphométrie géométrique.

Je n'oublie pas Dominique Grimaud-Hervé et Wanda Zinger, dont les retours sur mon mémoire de M1 ont permis d'améliorer ma rédaction et affiner mes analyses. Je remercie aussi Chafika Falguères et David Pleurdeau pour leur soutien moral et académique lors de mon départ, ainsi que pour leur confiance.

Ma reconnaissance va également à l'École Française d'Extrême-Orient (EFEO) pour son soutien financier, et à Madame la Professeure Elisabeth Chabanol et Madame Lee Jung-hee pour leur accueil au sein du centre EFEO de Séoul, qui a grandement facilité mon intégration et mes recherches sur place.

Je tiens à remercier Fabrice Demeter, Directeur de la mission paléoanthropologique dans la Province de Huaphan au Laos et son équipe de recherche pour m'avoir autorisé à utiliser le modèle 3D de la mandibule TPL2 qui m'a permis d'intégrer ce fossile à mon étude.

Je souhaite également remercier Hermine Xhaufclair et Kimberly Plomp pour leur accueil à l'Université des Philippines Diliman et pour m'avoir permis d'accéder aux collections enrichissantes ainsi considérablement mon corpus d'étude.

Je tiens à exprimer ma gratitude au Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) ainsi qu'au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) pour m'avoir donné l'opportunité de participer au JSPS Summer Program 2025, une expérience scientifique et humaine enrichissante, qui a largement contribué à mon parcours académique. Je remercie tout particulièrement le Professeur Osamu Kondo, de l'Université de Tokyo, pour son accueil au sein de son laboratoire, la qualité de son encadrement, ainsi que pour m'avoir autorisée à utiliser, dans le cadre de ce mémoire, des données inédites que nous étudions actuellement ensemble.

Je remercie sincèrement Anne-Lise Millan-Brun, bibliothécaire à l'Institut de Paléontologie Humaine (IPH), pour son aide dans mes recherches documentaires et son accompagnement.

Merci à Maëlys Commereuc, Constance Cavillac et Lou-Ann Yoh pour leurs partages d'expérience, qui m'ont aidée dans mon étude.

Enfin, je souhaite remercier du fond du cœur ma famille et mes amis pour leur soutien indéfectible, leur écoute et leur présence bienveillante. Leur encouragement constant a été un véritable moteur tout au long de ce parcours.

본 논문을 작성하는 데 있어 여러 기관과 분”들의 아낌없는 도움과 격려가 있었습니다.

먼저, 바쁜 일정 중에도 스타 프로그램 (Programme STAR) 연구와 학위논문 주제와 관련된 소중한 자문을 제공해주신 공수진 교수님과 조태섭 교수님, 서인선 학예사님, 한창균 교수님과 김도현 선생님 깊은 감사의 말씀을 전합니다. 모든 분의 도움으로 인해 본 연구의 방향을 정립하고 내용을 구체화하는 데 큰 도움이 되었습니다.

또한, 전국 각지 국립박물관의 관계자 여러분께도 진심으로 감사드립니다. 귀중한 자료의 제공과 현장 접근에 대한 협조는 본 논문이 완성되는 데 있어 중요한 밑거름이 되었습니다.

무엇보다도, 연구 과정의 어려움 속에서 늘 따뜻한 격려와 응원을 보내준 장윤서, 윤형수, 김성진, 김평화, 이다나, 김하림, 서인영, 소중한 친구들에게 깊은 감사 보내드립니다. 고민을 함께 나누고, 지치지 않도록 옆에서 힘이 되어준 여러분이 있었기에 끝까지 포기하지 않고 연구를 이어갈 수 있었습니다.

이 자리를 빌려 다시 한 번 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

1. Introduction

Les travaux récents sur les dynamiques de peuplement en Asie commencent à renouveler notre compréhension des processus migratoires, évolutifs et culturels associés à l'histoire d'*Homo sapiens*. Alors que les modèles traditionnels envisageaient une dispersion linéaire et relativement tardive depuis l'Afrique, les recherches récentes privilégient des scénarios plus complexes, constitués de migrations successives, parfois liées à des contextes géographiques ou écologiques spécifiques, mais qui peuvent également s'inscrire dans une dynamique globale.

Plusieurs chercheurs ont proposé qu'*Homo sapiens* ait atteint l'Asie méridionale et orientale bien avant 60 000 ans BP, via différentes routes de dispersions, notamment côtières, impliquant des installations progressives et parfois des interactions avec d'autres hominines (Dennell et Petraglia, 2012 ; O'Connell et *al.*, 2018). En Chine, les données paléanthropologiques et archéologiques du Pléistocène supérieur révèlent une histoire démographique marquée par des migrations multiples, des phases d'extinction locale et des métissages, impliquant des groupes néandertaliens, denisoviens et *Homo sapiens*, remettant en cause le modèle d'un remplacement rapide et homogène par les populations actuelles (Dennell et *al.*, 2020). Cette perspective rejoint une vision multirégionale de l'émergence d'*Homo sapiens*, intégrant des apports morphologiques et génétiques eurasiens (Bermúdez de Castro et Martínón-Torres, 2022).

Des études récentes insistent sur la pluralité des trajectoires évolutives en Asie de l'Est et du Sud-Est, notamment en contexte insulaire, où la variation fossile témoigne d'évolutions parfois parallèles (Sawafuji et *al.*, 2024 ; Simanjuntak et *al.*, 2023). Enfin, certaines régions, comme l'Extrême-Orient, semblent avoir été colonisées plus tardivement, en partie à cause de contraintes géographiques, mais aussi de dynamiques évolutives et comportementales humaines complexes. Ces comportements pouvant résulter soit de transformations culturelles progressives ou d'innovations plus abruptes, possiblement liées à des mutations génétiques (Klein, 2008). Cette diversité dans les trajectoires comportementales pourrait expliquer pourquoi certaines zones ont été occupées plus tardivement ou de manière moins marquée au plan archéologique (Zhang et Dennell, 2018).

Dans ce contexte, les populations désignées sous le terme « *Homo sapiens archaïque* » occupent une place centrale. Elles correspondent à des groupes présentant une mosaïque de traits morphologiques situés entre ceux des *Homo erectus* et des *Homo sapiens* actuels, témoignant d'une grande diversité morphologique et d'adaptations à des environnements variés

(Shook et *al.*, 2019). Leur répartition en Afrique et en Eurasie illustre la complexité des trajectoires évolutives humaines au Pléistocène, éloignées de schéma linéaire et uniforme.

Ce terme reflète à la fois la diversité morphologique et la variation géographique sans pour autant désigner un taxon formel (Ahern, 2015), mais regroupe des fossiles aux caractéristiques intermédiaires, partageant certains traits dits « archaïques » : une capacité crânienne d'environ 1 200 cm³, une face robuste, un torus sus-orbitaire marqué ou encore une forme occipitale moins anguleuse que chez *Homo erectus* (Shook et *al.*, 2019). Il reflète à la fois une variation morphologique marquée et une forte hétérogénéité géographique. Bermúdez de Castro et Martínón Torres (2022) insistent sur la complexité de cette variation, et appellent à une certaine prudence terminologique, soulignant que certains fossiles considérés comme « archaïques » pourraient simplement refléter l'ampleur de la diversité intra-spécifique d'*Homo sapiens*.

Dans le cadre de cette étude, le terme *Homo sapiens* archaïque est employé de manière descriptive pour désigner des spécimens présentant une combinaison de traits métriques et morphologiques les distinguant à la fois des *Homo sapiens* actuels et d'autres espèces fossiles.

Bien que les recherches récentes aient mis en lumière la complexité des dynamiques de peuplement en Asie de l'Est et du Sud-Est, la péninsule coréenne demeure largement marginalisée dans les études paléanthropologiques. Pourtant, sa position géographique en fait un carrefour stratégique entre la Chine, la Sibérie, le Japon et l'Asie du Sud-Est, susceptible d'avoir joué un rôle important dans les circulations humaines au cours du Pléistocène. Malgré cette position centrale, les données fossiles humaines coréennes restent très peu documentées.

Les fossiles de la péninsule coréenne sont peu, voire pas étudiés, en raison de leur accès difficile ou du manque de visibilité dont ils font l'objet. Dans le cas des spécimens de Sangsi, au Sud, les os pariétaux ont été étudiés par Songy Sohn (1986). Mais tous les autres restes humains n'avaient jamais été présentés et étudiés jusqu'à récemment avec une première étude sur les dents et un ulna (Commereuc, 2022 ; 2023) et sur les mandibules (Cachard, 2024 ; 2025). Le site de Sangsi, bien qu'identifié comme l'un des gisements majeurs du Paléolithique en Corée, reste pratiquement inconnu du grand public et peu intégré à la recherche internationale. Pourtant, ce site et les fossiles associés sont importants pour la compréhension de l'évolution humaine dans cette région.

Dans le cas des sites situés au Nord, l'accès aux fossiles originaux est particulièrement restreint, ce qui a longtemps freiné toute tentative d'analyse comparative à grande échelle. Pourtant, ces

restes présentent un intérêt majeur pour reconstituer les trajectoires évolutives locales en Asie de l'Est. C'est dans cette lacune scientifique que s'est inscrite mon étude de M1 (Cachard, 2024), effectuée sur les moulages de crânes et de mandibules provenant de sites préhistoriques de Corée du Nord. Nous avons pu les caractériser et les comparer à des *Homo sapiens* actuels et aux *Homo sapiens* chinois de Zhoukoudian Upper Cave du Pléistocène supérieur. Nous avons déterminé qu'elles se caractérisent par un corps mandibulaire large postérieurement et incliné vers le bas et l'extérieur contrairement à UC101 qui a un corps mandibulaire droit.

Dans la continuité de ce travail, la présente étude se concentre sur les fossiles de Sangsi, conservés au musée de l'Université de Yonsei, et examine dans quelle mesure les fossiles humains de la péninsule coréenne s'inscrivent dans la variation morphologique et métrique des hominines du Pléistocène moyen et supérieur en Eurasie et en Afrique, ainsi que des *Homo sapiens* actuels. Pour ce faire, nous mobilisons un corpus élargi, intégrant des sources inédites, et employons plusieurs méthodes d'analyse afin d'affiner la compréhension de ces populations.

La constitution du matériel comparatif a nécessité plusieurs missions dans des institutions à l'étranger (Corée du Sud, Japon, Philippines), permettant l'accès à des fossiles humains rarement intégrés dans les analyses morphométriques. Nous avons notamment travaillé sur un moulage de la mandibule de Zhoukoudian, conservé à l'Institut de Paléontologie Humaine (IPH), ainsi que sur le modèle 3D du spécimen TPL2 de Tam Pa Ling, mis à disposition par l'équipe de Fabrice Demeter. Lors du JSPS-CNRS Summer Program, nous avons pu étudier les mandibules issues du site d'Usu-moshiri, au Japon, qui sont encore inédites. Ces données permettent de situer les fossiles de Sangsi dans un cadre plus large, englobant une partie de l'Asie de l'Est.

D'autre part, cette étude morphométrique 2D est complétée par une approche en morphométrie géométrique 3D, appliquée pour la première fois à ce corpus. Elle permet de considérer les variations morphologiques des surfaces osseuses, au-delà des seules mesures linéaires traditionnelles.

Enfin, un travail approfondi sur la littérature a été mené, incluant des sources écrites disponibles uniquement en Corée, ainsi que des données inédites concernant certains sites de Corée du Nord, rarement mobilisées dans les publications internationales. Ces apports documentaires contribuent à enrichir et à contextualiser l'analyse morphologique dans un cadre régional.

2. Matériels

2.1. Sources écrites

Dans le prolongement de mes recherches précédentes (Cachard, 2024), qui mettaient en évidence l'absence d'un cadre commun pour l'analyse des données archéologiques et paléanthropologiques coréennes, cette nouvelle phase de travail vise à consolider cette première approche en élargissant le corpus de sources disponibles. L'objectif est de construire une base comparative solide, en articulant les documents nord-coréens et sud-coréens, dont les méthodes, terminologies et contextes de production diffèrent largement.

Lors de la première étude, l'analyse reposait principalement sur les rapports publiés par le centre de recherche en évolution humaine de l'Université de Kim Il Sung (인류진화발전사연구실, 1995), et sur des ouvrages de chercheurs sud-coréens (한창균, 'Han C.K', 1990 ; 김신규 'Kim S.K.' et *al.*, 1985).

Dans cette nouvelle étude, j'ai élargi le corpus documentaire grâce à l'accès aux archives nord-coréennes conservées à la Bibliothèque Nationale de Corée du Sud (통일부 북한자료센터). Ces archives rassemblent des publications universitaires notamment celles publiées par la maison d'édition de l'Université de Kim Il Sung et de l'Institut de recherche en archéologie de l'Académie des sciences sociales (김일성종합대학출판사, 사회과학원 고고학연구소), des articles scientifiques (김홍걸 'Kim H.G.', 2008; 어해남 'Oh H.N.', 1999) et de presse spécialisée (김일성종합대학출판사, 문화예술출판사, 사회과학원 고고학연구소, 통일신보사)¹, rarement pris en compte dans la littérature occidentale. Du côté sud-coréen, le travail s'est appuyé sur les archives du Musée de l'Université Yonsei (연세대학교 박물관), où se trouvent des rapports de fouilles, des études préliminaires de sites, des photographies inédites, ainsi que des documents issus des travaux du professeur Pokee Sohn (손보기 'Sohn P.K', 1984 ; 1981; 1987) et de sa fille Songy Sohn (Sohn, SG. 1986 ; 1988).

Le professeur Pokee Sohn (1922-2010) a obtenu un doctorat d'histoire en 1964 à l'Université de Berkeley (동아일보 'Dong-A Ilbo', 1964.02.05). Durant sa formation aux États-Unis, il s'est familiarisé avec les méthodes de fouilles archéologiques, notamment grâce à ses échanges avec des chercheurs américains. Ces méthodes se retrouvent dans la méthodologie appliquée

¹ (문화예술출판사) : "Éditions de culture et d'art"; (사회과학원 고고학연구소) : "Institut de recherche en archéologie de l'Académie des sciences sociales" ; (통일신보사) : "Éditions Tongil Sinbo"

aux fouilles coréennes, en particulier sur les sites de Seokjangri (1964) et de l'abri sous roche de Sangsi (1981).

Il est considéré comme le fondateur de l'archéologie préhistorique coréenne, car sa découverte du site de Seokjangri (석장리) a renversé l'idée selon laquelle la péninsule coréenne ne possédait pas de paléolithique, longtemps avancée par les chercheurs japonais durant la période coloniale (파이낸셜뉴스 'Financial news', 2020). Ce site marque ainsi le point de départ des recherches archéologiques sur le Paléolithique en Corée du Sud. Le professeur Sohn a également créé une terminologie spécialisée inspirée des terminologies américaines et françaises, mais qu'il a adaptée à la langue coréenne (Terminologie utilisée au sud de la péninsule), et qui est encore en usage aujourd'hui (Sohn P.K, 1998).

En plus de ses fouilles sur le terrain, il a joué un rôle-clé dans l'intégration de l'archéologie coréenne au réseau scientifique international, notamment par ses rencontres avec des chercheurs français lors du IX^{ème} congrès de l'UISPP en septembre 1976, organisé en France (De Lumley et *al.*, 2011). Cette coopération a contribué à l'ouverture de la discipline coréenne vers des approches comparatives et interdisciplinaires. La fille de Sohn Pokee, Sohn Songy, ainsi que l'un de ses élèves, Young Chul Park, furent accueillis par le professeur Henry de Lumley au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, où ils se sont formés, illustrant ainsi la continuité dans la recherche.

Les sources coréennes, souvent peu accessibles hors de la péninsule ou des centres spécialisés, enrichissent notre compréhension des dynamiques scientifiques propres à chaque contexte national. En Corée du Nord, la production académique suit des cadres distincts, avec un lexique et une approche idéologiquement marquée. En Corée du Sud, les méthodes s'inspirent davantage des traditions nord-américaines et françaises, avec une terminologie spécifique. L'analyse croisée de ces corpus a nécessité un important travail de traduction et de mise en correspondance entre terminologies française, anglaise, sud- et nord-coréenne. Ces écarts linguistiques et méthodologiques justifient la création d'un référentiel comparatif adapté aux spécificités coréennes.

Dans le corps du texte, les sources coréennes sont tout d'abord citées dans leur version originale, suivies immédiatement de leur traduction en français entre parenthèses. Par la suite, afin d'alléger la lecture, seules les traductions seront utilisées. Cette méthode permet de respecter la forme originale des documents tout en assurant leur accessibilité au lectorat francophone.

2.2. Matériel d'étude

A. Sites archéologiques

Les mandibules analysées dans cette étude proviennent de plusieurs sites clés de la péninsule coréenne : Sangsi (Corée du Sud) et Mandal, Sungrisan (Corée du Nord). Ces sites offrent des contextes stratigraphiques, paléo environnementaux et archéologiques variés.

a. Abri sous roche de Sangsi

Cette étude repose sur l'analyse de trois mandibules provenant de l'abri sous roche de Sangsi 1 (상시바위그늘) en Corée du Sud. Il fait partie d'un complexe de trois abris qui se situe dans le district de Maepo (매포면), comté de Danyang (단양군), province du Chungcheong du Nord (충청북도), à la latitude 37° 4'44" N et à la longitude 128° 7' 50" E (Sohn P.K, 1984). Il était entouré d'une forêt, mais maintenant, il est bordé par une autoroute qui bloque l'entrée principale. Cette entrée était utilisée lors des fouilles de 1981. La deuxième entrée est moins praticable, mais est toujours accessible.

Le complexe d'abris sous roche de Sangsi a été découvert en 1974, et l'abri n°1 a fait l'objet d'une fouille unique en 1981, menée par l'équipe de l'Université de Yonsei (연세대학교) sous la direction du professeur Pokee Sohn. Les fouilles n'ayant pas été poursuivies après cette campagne, les données disponibles concernant les datations restent limitées. Toutefois, il est établi que l'abri 2 s'étend sur la période Chalcolithique, tandis que l'abri 3 s'étend du Paléolithique supérieur jusqu'au Néolithique (Lumley et *al.*, 2011).

L'abri 1 présente une stratigraphie composée de onze couches, pour une hauteur totale de 2,69 m de dépôts (Sohn P.K., 1984). Les fouilles n'ont permis d'explorer que jusqu'à 2,6 m de profondeur (Sohn S.G., 1986). Les spécimens Sangsi 19 et 20 proviennent de la couche 5, d'une épaisseur de 28 cm, qui a livré plusieurs restes humains et qui est généralement rattachée au Paléolithique supérieur. En revanche, l'attribution stratigraphique de Sangsi 53 reste incertaine à ce jour. Une datation réalisée par le Dr. Yokoyama par spectrométrie alpha (méthode uranium-thorium / protactinium) a fourni une datation de 30 ka ± 7 ka (Sohn, SG. 1986) pour cette couche. Aucune datation n'a été réalisée pour les couches inférieures. De nouvelles datations pourraient être proposées à l'avenir pour remettre en contexte les restes découverts.

Par ailleurs, environ 0,9 mètre de sédiment n'a pas encore été fouillé dans l'abri (Sohn, SG. 1986), ce qui laisse la porte ouverte à de futures découvertes et datations susceptibles de

préciser davantage la chronologie du site et de mieux contextualiser les vestiges découverts. C'est un des objectifs du programme STAR « First *Homo sapiens* in Korea » (PHC, 2025-2026, Dir. Tae-Sop CHO & Amélie VIALET). Ces nouvelles analyses pourraient ainsi enrichir la compréhension des occupations humaines et des environnements associés à Sangsi 1.

Bien que la couche 5 n'ait livré aucun reste pollinique exploitable, les analyses palynologiques effectuées dans les couches supérieures offrent des indications sur le contexte environnemental général du site. Les couches 2 et 3, plus récentes, ont révélé la présence de *Tsuga sieboldii*, *Chenopodium album*, *Platycladus orientalis*, *Bambusoideae* et *Chrysanthemum*, témoignant d'un climat tempéré humide avec des formations forestières de conifères, des espaces ouverts ou rudéraux, et des espèces herbacées. Les couches 6 et 8 ont livré des taxons tels que *Synurus deltoides*, *Chrysanthemum* et *Malva verticillata*, ainsi que de nombreuses spores, suggérant un environnement dominé par une végétation herbacée sous un climat frais, non strictement glaciaire (Sohn P.K, 1984). Nous pouvons en déduire que la couche 5 se situe entre deux environnements qui pourraient représenter une transition progressive d'un paysage à dominante herbacée, vers un milieu plus tempéré et forestier.

Sur ce site, seulement trois des onze couches contenaient des industries lithiques, dont la couche 5 où deux chopping tools ont été retrouvés. Tous deux montrent des enlèvements simples sur de larges surfaces, suggérant une production fonctionnelle à partir de galets locaux. L'abri contient 618 industries osseuses avec seulement neuf dans la couche 5 correspondant à six racloirs et trois hachereaux. Un fragment de côte gravée, retrouvé dans la couche 5, présente des incisions régulières en forme de croix et de lignes parallèles, ainsi qu'une surface polie. Une perforation partielle est visible à l'une des extrémités, et des stries supplémentaires apparaissent à l'arrière. L'analyse au microscope électronique confirme un tracé intentionnel, attribuable à une intervention humaine. Ce fragment pourrait relever d'un usage symbolique ou d'un art mobilier (Sohn P.K. 1984).

Dans la couche 5 de l'abri 1, 147 restes fauniques correspondant à 13 taxons ont été découverts. Les espèces identifiées comprennent notamment *Cervus nippon* (49 restes, 4 individus min), *Lepus* sp. (48 restes, 5 individus), *Moschus moschiferus* (8 restes, 2 individus), ainsi que des représentants plus rares tels que *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Capra cf. hircus*, *Mustela* sp., *Vulpes vulpes*, *Mus musculus*, *Allocricetus bursae*, *Talpa* sp., *Bufo asiaticus* et *Tetrastes bonasia* (Sohn P.K, 1984). Cette faune reflète un environnement forestier tempéré frais, marqué par des forêts mixtes à boréales, avec une forte humidité et des températures

relativement basses. La présence de taxons comme *Moschus moschiferus* et *Tetrastes bonasia* suggère un climat froid, tandis que la diversité des ongulés et petits mammifères témoigne d'un habitat varié comprenant des zones ouvertes et des milieux forestiers.

L'absence d'espèces glaciaires extrêmes (renne, mammouth) évoque un climat de type taïga humide. La présence de carnivores comme *Canis lupus*, *Panthera tigris* ou *Gulo* sp., bien que minoritaire, indique une chaîne trophique diversifiée. Ces données reflètent une continuité écologique entre la faune du Pléistocène supérieur et celle, sub-actuelle, de la péninsule coréenne, avec des influences eurasiatiques notables (De Lumley et al., 2011).

Les restes humains issus de la couche 5 n'ont été décrits que partiellement dans le rapport de fouille initial (Sohn P.K., 1984), qui ne mentionne que six individus, alors que plus de 135 ossements ont été découverts dans l'abri 1. À ce jour, seuls onze os humains et 33 dents ont fait l'objet d'une étude approfondie (Sohn P.K. 1985, 1987 ; Sohn S., 1986, 1988, 1992 ; De Lumley et al., 2011 ; Commereuc, 2022, 2023 ; Cachard, 2024), et tous ont été attribués à *Homo sapiens* avec des liens établis avec des formes néanderthaliennes (Commereuc, 2022, 2023) et avec des formes considérés comme « archaïques » (Sohn S., 1986, 1988).

Dans les travaux de Sohn P.K. (1985, 1987) et Sohn S. (1986, 1988), trois os post-crâniens (scapula droite, ulna droit, radius gauche) et deux fragments crâniens (pariétal droit et gauche) ont été décrits. À partir de ces éléments, Sohn P.K. avait proposé l'hypothèse d'une nouvelle espèce, tandis que Sohn S. soulignait le caractère archaïque des deux pariétaux par rapport aux *Homo sapiens* actuels. Plus récemment, une étude menée en 2023 a permis, à partir des dents, d'estimer un minimum de six adultes et deux enfants représentés dans la couche 5 (Commereuc, 2023). Ces dents présentent un profil morphologique intermédiaire, car elles combinent des traits exprimés fréquemment chez les Néandertaliens en Europe avec des affinités observées chez les *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur.

Lors d'une mission à Séoul effectuée en mai 2025, dans le cadre du PHC STAR, nous avons pu établir un inventaire détaillé des restes humains, mis à disposition par le musée de l'Université de Yonsei, avec leur état de conservation ainsi que des mesures ayant pour but d'être utilisées pour la conservation des collections (cf. Tabl.12). Nous avons choisi d'utiliser la numérotation utilisée par le musée plutôt que la numérotation utilisée lors de la fouille.

b. Sites de Corée du Nord

En Corée du Nord, il y a trois sites majeurs où des crânes et mandibules ont été découverts : les grottes de Ryonggok (룡곡 동굴), Sungrisan (승리산 동굴) et Mandal (만달 동굴). Grâce aux archives consultées en Corée, notamment des articles de journaux présentant des photos, nous avons confirmé l'association entre les deux crânes de Ryonggok et leurs mandibules (박정원 'Park J.W', 1994). N'ayant pas de moulages leur correspondant, nous n'avons pas pu les ajouter au corpus. Mais nous avons pu étudier les moulages des mandibules de Mandal et de Sungrisan qui sont conservés à l'IPH.

Tout d'abord, la grotte de Mandal a été fouillée entre 1979 et 1980 et est située dans la province de Hwanghae du Nord (황해북도) Seungho-gun (승호군), à Mandal-ri, à 40 km à l'est de Pyongyang. Il s'agit d'une grotte karstique (석회암동굴), localisée à mi-pente du versant sud du mont Mandal, non loin de la rivière Namgang (Université de Kim Il Sung, 2021). L'entrée de la cavité se trouve à environ 100 m du lit de la rivière, à une altitude relative de 7 m. La grotte présente une forme semi-circulaire, mesurant entre 7 et 8 mètres de large et entre 13 et 15 mètres de long (조태섭 'Jo T.S', 2000 ; KCNA, 2022). Elle est divisée en trois couches stratigraphiques s'étendant du Paléolithique au Néolithique. Des datations auraient été effectuées sur la couche intermédiaire et correspondraient au Paléolithique supérieur (김신규 'Kim S.G', 1985).

Une étude palynologique récente, distingue trois phases polliniques successives, révélant une évolution progressive du paysage végétal. La première phase témoigne d'un couvert forestier, dominé par *Pinus*, *Sciadopitys* et *Juglans*, tandis que les phases suivantes montrent une ouverture progressive du milieu, marquée par une légère augmentation des espèces herbacées (notamment *Leguminosae*, *Gramineae*) et une diminution des taxons arborés tels que *Abies* ou *Corylus*. Toutefois, la prédominance des arbres au sein de la séquence indique la persistance d'un environnement forestier tempéré avec des zones ouvertes, correspondant à une mosaïque végétale entre forêt et prairies herbacées (강릉일와 최례순, Kang R.I et Choe R.S. 2024).

C'est à plus de six mètres de profondeur, qu'ont été mis au jour des fossiles humains comprenant une calotte crânienne, une mandibule, un humérus, deux os iliaques et un fémur associés à de l'industrie lithique comprenant treize outils, tels que grattoirs, burins, lames tranchantes, percuteurs et nucléus à micro-lames. Ces artefacts, caractéristiques du

Paléolithique supérieur coréen et proche du faciès « Suyanggae III », témoignent d'une standardisation technique avancée, notamment avec la production de micro-lames détachées en séries (Kim S.G., 1985 ; Kim H.G., 2006). En complément des outils en pierre, des outils en os façonnés ont été découverts, dont certains composites avec emmanchement en bois de cerf (Kim H.G., 2006).

Les matières premières utilisées sont variées : galets locaux, chert et surtout une forte proportion d'obsidienne. Or, l'obsidienne n'est pas disponible localement et provient d'une région située à environ 80 km du site dans le plateau volcanique de Singye–Goksan (Jo T.S., 2000 ; KCNA, 2022 ; Université de Kim Il Sung, 2021). Cela indique que les populations de Mandal-ri avaient une mobilité étendue ou participaient à des réseaux d'échanges élaborés dès le Paléolithique supérieur.

L'analyse des restes fauniques issus des différentes couches de la grotte révèle une forte représentation des grands mammifères, avec 23 espèces identifiées dans la couche inférieure, totalisant 733 ossements correspondant à un minimum de 97 individus. *Crocota crocuta* (hyène des cavernes) domine largement cet assemblage, représentant 47,4 % des fossiles (46 individus), suivie de *Capreolus capreolus* (chevreuil) et de *Cervus elaphus* (cerf élaphe). Un des aspects notables du site est la prédominance des carnivores, proportionnellement plus nombreux que les herbivores, un phénomène relativement rare dans les contextes paléolithiques coréens (Jo T.S., 2000). Concernant la composition taxonomique, la majorité des ossements appartient à quatre grands groupes : les carnivores (notamment l'hyène), les ongulés (dont des cervidés), les périssodactyles (chevaux) et quelques primates. Cette composition témoigne d'un environnement faunique riche et diversifié.

La grotte de Sungrisan est située dans le district de Deokcheon (덕천군), province du Pyong-An du Sud (평안남도), à environ 75 kilomètres au nord-est de Pyongyang. Il s'agit d'une grotte karstique, située à environ 17 à 18 mètres en amont de la rivière Daedong (대동강), sur le versant sud-est du mont Sungri (승리산). L'entrée de la grotte, orientée au sud-est, mesure 7 mètres de large pour 7,5 mètres de haut, et la cavité s'étend sur 62,2 mètres de longueur (Institut de recherche en archéologie, 1978 ; Han C.K., 2008). Les fouilles menées entre 1972 et 1973 ont permis de diviser le site en six couches stratigraphiques distinctes, datées du Paléolithique moyen et supérieur.

L'analyse palynologique de la couche supérieure, où ont été retrouvés les restes humains, révèle une dominance marquée des conifères, dominés par le genre *Pinus*, suivi de *Thuja*, *Abies*, *Larix* et *Picea*. Les feuillus, bien que moins représentés, incluent *Quercus*, *Betula*, *Salix* et *Tilia*. Des spores de fougères appartenant à la famille des Polypodiaceae ont également été identifiées. La présence de taxons comme *Corylus* et de faibles proportions d'herbacées complète ce spectre. Ce spectre pollinique suggère un environnement forestier de type tempéré-froid, caractérisé par une végétation dominée par les gymnospermes et une certaine ouverture du milieu. Le paysage devait correspondre à une forêt mixte de conifères et feuillus, formée dans un contexte climatique plus froid qu'actuellement, bien que relativement humide (Kim H.G., 1993 ; Han C.K., 2008).

Elle a livré un ensemble faunique abondant, comprenant plus de vingt-huit espèces identifiées. Parmi les grands mammifères, on retrouve *Cervus*, *Equus*, *Bos*, *Bison*, *Sus*, ainsi que plusieurs carnivores tels que *Crocuta crocuta ultima*, *Panthera pardus* et *Ursus*. Des restes attribués à *Elephas* ont également été mis au jour, bien que leur présence dans cette région soit relativement rare pour cette période (Institut de recherche en archéologie, 1978 ; Han C.K., 2008). La diversité des taxons indique la cohabitation d'espèces adaptées à des milieux tempérés à froids, compatibles avec les données palynologiques de la couche supérieure. On note notamment la présence de *Stephanorhinus kirchbergensis*, de *Bubalus* et de *Capra*, témoignant de conditions climatiques variées au cours de la formation des dépôts.

Aucune industrie lithique n'a été retrouvée dans les couches paléolithiques contenant des restes humains (Institut de recherche en archéologie, 1978 ; Centre de recherche en évolution humaine de l'Université de Kim Il Sung, 1995). Les publications ne mentionnent ni outils, ni éclats, ni structures associées, ce qui laisse supposer une absence d'activité lithique ou une lacune dans la documentation lors des fouilles initiales.

Les fouilles ont révélé deux niveaux distincts contenant des restes humains. Dans la couche 4, ont été découverts une M₁ droite, une M₂ gauche ainsi qu'une scapula droite. Dans une des études nord-coréennes, ils considèrent que les dents ont des caractéristiques d'*Homo neanderthalensis* (Institut de recherche en archéologie, 1978). Dans la couche 5, une mandibule a été découverte à 18m de la paroi (Centre de recherche en évolution humaine de l'Université de Kim Il Sung, 1995).

c. Autres sites d'Asie

L'étude inclut également le moulage de la mandibule 1962-75 (UC101) à l'IPH et issus des fossiles de la grotte supérieure (Upper Cave) de Zhoukoudian, située à environ 50 km au sud-ouest de Pékin. Découverte en 1930 puis fouillée en 1933–1934, cette cavité (Localité 26) surplombe la localité 1 dite « Peking Man Site » et constitue un site important pour l'étude de la présence d'*Homo sapiens* en Chine au Pléistocène supérieur (Pei, 1939 ; Li *et al.*, 2018 ; d'Errico *et al.*, 2023). Le remplissage sédimentaire, épais de plus de 10 mètres, est structuré en cinq couches culturelles (L1 à L5) séparées par des niveaux stériles, au-dessus d'un niveau inférieur interprété comme un piège naturel à faune (Pei, 1939 ; Norton et Gao, 2008).

Les datations des couches ont longtemps été débattues, mais les résultats les plus récents par AMS 14C, avec pré traitement par ultrafiltration, situent les niveaux L4 entre 38,3 et 35,8 ka et L1 entre 35,1 et 33,5 ka (Li *et al.*, 2018). Les restes humains, attribués à au moins huit individus dont trois crânes (UC101, UC102, UC103), proviennent de la couche 4 de la grotte supérieure de Zhoukoudian et sont datés du Paléolithique supérieur, avec une fourchette généralement admise entre 38 et 33 ka (Pei, 1939 ; Gao *et al.*, 2008 ; Li *et al.*, 2018 ; d'Errico *et al.*, 2023). L'état de conservation de ces fossiles, leur association avec des éléments symboliques tels que des pigments d'ocre et des ornements perforés, ainsi que leur disposition suggèrent des pratiques funéraires, bien que certains éléments aient pu être remaniés par l'action de carnivores ou de fousseurs comme *Meles* sp. (Pei, 1939 ; Norton et Gao, 2008).

L'assemblage faunique comprend plus de 50 espèces, dominées par les mammifères : cervidés (notamment *Cervus nippon*), rongeurs (*Lepus* sp.), et carnivores (*Vulpes* sp. et *Meles* sp.), avec une surreprésentation des éléments crâniens (Pei, 1940). Des marques de découpe, brûlures et traces de carnivores témoignent d'interactions anthropiques et animales (Norton et Gao, 2008). Le matériel lithique, peu abondant (25 pièces), s'inscrit dans la tradition nord-chinoise « core-and-flake » avec l'utilisation majoritaire du quartz, puis du grès, chert et silex. Les éclats, obtenus par percussion directe ou bipolaire, ont été retouchés en racloirs ou grattoirs ; une aiguille à chas façonnée dans de l'os provient du niveau L1 (Pei, 1939 ; d'Errico *et al.*, 2023).

L'ensemble culturel se distingue surtout par une abondance d'artefacts symboliques. Les niveaux L2 et L4, ainsi que le contexte immédiat du crâne UC102 (entre L3 et L4), ont livré des éléments de parure : canines perforées de *Vulpes* et *Meles*, coquilles marines (*Arca* sp.), galets perforés en roche volcanique, tubes osseux gravés, ainsi que des fragments d'ocre rouge

portant des traces d'utilisation (Pei, 1939 ; d'Errico *et al.*, 2023). L'usage d'ocre, la présence de sépultures (UC101–103) et les objets ornés témoignent de comportements symboliques complexes attribués à *Homo sapiens*, inscrivant Zhoukoudian UC dans le cadre des traditions symboliques du Paléolithique supérieur en Asie orientale (Harvati, 2009 ; d'Errico *et al.*, 2023).

Notre étude intègre la mandibule TPL2, provenant de la grotte de Tam Pà Ling (TPL) situé dans la province de Huà Pan au Laos, dans la chaîne annamitique (Düringer *et al.*, 2012). Cette grotte a livré plusieurs fossiles humains dont le crâne TPL1 et la mandibule TPL2 datés entre 44 et 63 000 ans, fournissant ainsi des preuves de la présence d'*Homo sapiens* en Asie du Sud-Est à cette période (Demeter *et al.*, 2015, 2017 ; Shackelford *et al.*, 2015 ; Freidline *et al.*, 2023).

La grotte principale, accessible par une unique entrée orientée vers le sud, comprend une chambre principale de 30 m de long sur 40 m de large (Demeter *et al.*, 2012). Sa stratigraphie montre des dépôts argileux sableux et limoneux issus de ruissellements périodiques depuis la pente d'entrée, alternant avec des couches de concrétions calcaires et des blocs de calcaire, surtout en profondeur (Demeter *et al.*, 2012, 2015 ; Shackelford *et al.*, 2017). La microstructure argileuse suggère une réorganisation post-dépositionnelle (Demeter *et al.*, 2012). Aucun niveau d'occupation ni surface habitée n'a été détecté, et les fossiles humains semblent avoir été déposés près de l'entrée avant leur enfouissement par ces dépôts (Demeter *et al.*, 2015).

Les analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ des n-alcanes) révèlent une végétation majoritairement de type C3, caractéristique des forêts humides tropicales, du MIS 5 jusqu'à l'Holocène (Bacon *et al.*, 2023). Durant le MIS 3 (~46 ka), des variations hydriques ont favorisé une mosaïque végétale mêlant forêts denses et zones ouvertes de buissons et graminées, traduisant un habitat forestier dominant et diversifié (Bourgon *et al.*, 2021 ; Bacon *et al.*, 2023).

La faune associée, extraite des dépôts entre 0,74 m et 6 m de profondeur, est principalement constituée de micro mammifères, notamment des rongeurs tels que *Leopoldamys cf. sabanus*, *Niviventer* sp. et *Rattus* sp., qui représentent plus de 80 % des restes identifiables (Demeter *et al.*, 2015). Ces assemblages fauniques confirment la présence d'un écosystème forestier riche en biodiversité.

Parmi les fossiles humains découverts, TPL1 et TPL2 se distinguent par leur ancienneté et leur position stratigraphique : TPL1 a été mis au jour à une profondeur d'environ 2,35 m, tandis que TPL2, provient d'un niveau situé à environ 2,65 m, attestant d'une occupation humaine ancienne et continue du site. L'état de conservation des fossiles, sans signes de transport par

l'eau, suggère qu'ils ont été déposés ou sont morts à proximité de l'entrée de la grotte (Demeter *et al.*, 2012, 2015). Aucune industrie lithique n'a été retrouvée sur le site.

Dans cette étude, nous avons intégré les mandibules du site d'Usu-moshiri (有珠モシリ) analysées dans le cadre d'un programme de recherche scientifique (JSPS Summer Program 2025) dans le laboratoire d'anthropologie biologique de l'Université de Tokyo sous la direction du Professeur Kondo Osamu. Les publications les plus récentes concernant ce site sont en japonais (Aono & Nagaya, 2021 ; Aono *et al.*, 2023) et en anglais pour d'autres couches stratigraphiques (Adachi *et al.*, 2003 ; Adachi *et al.*, 2006 ; Tsutaya *et al.*, 2013). Les spécimens examinés ici n'ont, à ce jour, fait l'objet d'aucune publication.

Situé sur un îlot d'environ 10 000 m² dans la baie d'Usu, dans la ville de Date (Hokkaidō, Japon), sur la côte sud-ouest de l'île, le site d'Usu-Moshiri se trouve à proximité immédiate de plusieurs volcans actifs, dont le mont Usu et Koma-ga-take (Ohshima *et al.*, 1989 ; Ohshima, 2003). Bien que l'îlot ne dépasse pas 8 mètres d'altitude au point culminant (avec une moyenne d'environ 5 m), il présente plusieurs couches stratigraphiques témoignant des éruptions successives de ces volcans environnants. Ce contexte côtier volcanique offre également un environnement riche en ressources marines.

Les premières fouilles ont été menées par l'Université médicale de Sapporo entre 1985 et 1989 sous la direction de N. Ohshima, révélant une importante occupation funéraire attribuée aux phases finales du Jōmon (environ 1500–1000 av. J.-C.) et à la période Epi-Jōmon (environ 1000–300 av. J.-C.) (Ohshima *et al.*, 1989 ; Aono & Ohshima, 2003). Les datations absolues obtenues sur les niveaux archéologiques indiquent une fourchette autour de 2000 ans avant le présent, ce qui correspond aux formes tardives de l'Epi-Jōmon dans le sud-ouest de Hokkaidō. Depuis 2018, de nouvelles fouilles archéologiques ont repris, notamment une campagne menée en septembre 2020 et se sont poursuivies jusqu'en 2023 (Aono *et al.*, 2023), puis en août 2025.

La stratigraphie présente une alternance de couches sédimentaires riches en coquillages, de cendres volcaniques attribuées aux éruptions du mont Usu, et de dépôts argileux. Les couches associées aux activités funéraires sont caractérisées par des concentrations d'ossements humains et d'objets culturels, notamment dans des fosses contenant du sable blanc, un élément distinctif. La tombe 18, notamment, est structurée en forme annulaire (diamètre de 40 cm) et se distingue par la présence d'un anneau de sable clair entourant les dépôts humains, indiquant une pratique funéraire élaborée.

Au total, la tombe 18 a livré les restes de onze individus (18A–18K), répartis dans une même structure. Ces ossements, souvent fragmentaires, sont regroupés par sections anatomiques (crânes, membres supérieurs et inférieurs, pelvis), témoignant d’une pratique culturelle consistant d’abord en un enterrement initial des défunts, suivi d’une exhumation ultérieure pour leur ré-ensevelissement collectif. Cette séquence intentionnelle de traitement des corps est illustrée par la présence conjointe d’adultes et d’enfants, de crânes alignés et de restes humains rassemblés, ce qui indique une pratique de type « tombe de ré-inhumation » (再葬墓, *saisōbo*).

Ces dépôts multiples témoignent probablement de rituels complexes impliquant une manipulation post-mortem des corps. Ce type de sépulture est typique des phases tardives du Jomon à Hokkaido, en lien avec les traditions funéraires de la culture Esan, qui se développe entre 2300 et 1700 ans avant le présent dans le sud-ouest de l’île (Aono & Ohshima, 2003).

B. État de conservation et description du matériel

a. Abri sous roche de Sangsi

Les trois mandibules fragmentaires de Sangsi 1 ont été initialement décrites à partir de mesures et de photographies réalisées en 2023 par A. Vialet et M. Commereuc. Ces premières données ont été complétées par mes propres observations, relevés métriques et photographies in situ lors d’un accès direct aux spécimens en 2025. Ce travail a permis de documenter plus précisément l’état de conservation des mandibules et d’enrichir leur description.

L’étude porte sur trois mandibules conservées au musée de l’Université de Yonsei (Tabl.1), décrites ici en fonction de leur intégrité osseuse et dentaire, de la présence des structures anatomiques majeures, et de signes éventuels de remodelage.

Mandibule	
Sangsi 19	Hémi-mandibule gauche. Condyle gauche partiellement présent. Apophyse coronoïde préservée. Lacune au niveau de la région goniale. Aucune dent n’est conservée.
Sangsi 20	Hémi-mandibule gauche. Absence de la face interne de la branche montante. La partie inférieure de la branche montante est conservée. Absence du condyle et de l’apophyse coronoïde gauche. Absence du corps mandibulaire gauche à partir de la M1 jusqu’à la symphyse mandibulaire. Région goniale fragmentaire. Les molaires (M1, M2, M3) sont conservées.

Sangsi 53	Mandibule bien conservée avec une légère lacune à l'apophyse coronoïde gauche. Les alvéoles correspondant aux M2 et M3 sont complètement résorbées, sans signes de remaniement post-mortem, ce qui indique une perte ante-mortem, avec remodelage osseux complet. Seules les M1 sont conservées de part et d'autre de la mandibule.
------------------	---

< Tableau 1 > Description de l'état de conservation des mandibules de Sangsi

La documentation photographique repose sur des clichés que j'ai pris en 2025 en Corée, qui ont permis une évaluation plus précise et contextualisée l'état de conservation des mandibules (Fig. 1 à 3). Ces images ont également servi à la réalisation de modèles 3D par photogrammétrie.



< Figure 1 > Mandibule Sangsi 19 (A : vue face interne gauche, B : vue latérale gauche, C : vue supérieure, D : vue inférieure)



< Figure 2 > Mandibule Sangsi 20 (A : vue face interne gauche, B : vue latérale gauche, C : vue supérieure)



< Figure 3 > Mandibule Sangsi 53 (A : Vue supérieure, B : Vue inférieure, C : Vue latérale droite, D : Vue latérale gauche)

b. Sites de Corée du Nord

L'étude porte sur l'analyse de moulages de mandibules provenant de Corée du Nord conservés à l'Institut de Paléontologie Humaine (IPH, Paris), issus des sites de Mandal et Sungrisan (Fig.4). Ces spécimens présentent des états de conservation variables. Afin d'affiner cette évaluation, j'ai également consulté des sources nord-coréennes en Corée du Sud, comprenant des photographies originales des mandibules, ce qui a permis une comparaison entre l'état de conservation des moulages et celui décrit dans la littérature (Tabl.2).

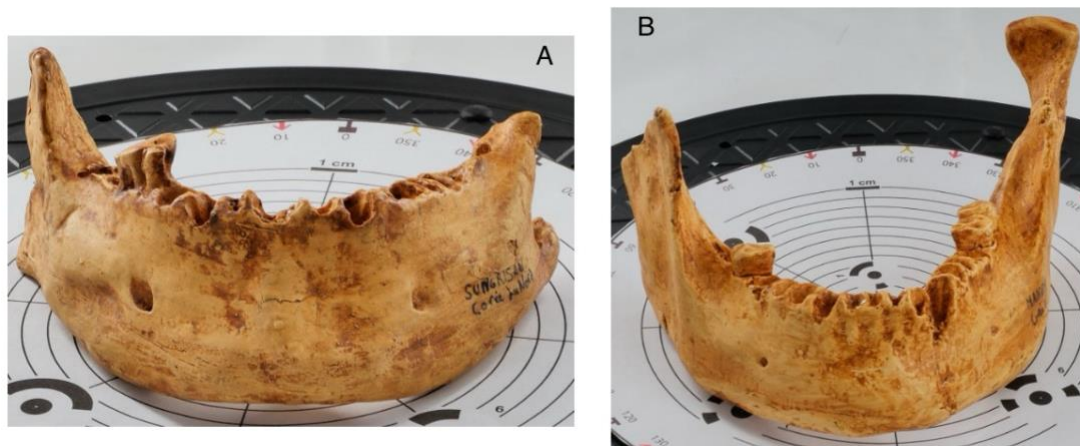
Dans le cas de la mandibule de Sungrisan, l'aspect général et les proportions mandibulaires sont fidèlement restitués, mais de légères différences sont observables. Celles-ci concernent principalement certains détails taphonomiques, comme la cassure de la face interne de la branche montante gauche, partiellement atténuée sur le moulage, ou la moindre visibilité de petites perforations présentes sur la mandibule. Ces différences n'altèrent pas la fiabilité du moulage en tant que support d'analyse comparative, mais soulignent l'intérêt de croiser les sources visuelles dans une perspective critique.

Concernant la mandibule de Mandal, la comparaison entre le fossile original et son moulage montre une reproduction fidèle des traits morphologiques principaux, notamment la forme du corps mandibulaire, la configuration des dents et la branche montante. La texture et certains détails de surface, comme les petites aspérités ou cassures, peuvent apparaître légèrement atténués sur le moulage, mais sans altérer la perception générale de la morphologie. Cette correspondance confirme la fiabilité du moulage en tant que support d'analyse, tout en rappelant l'importance d'intégrer des sources visuelles diversifiées pour une appréciation critique des spécimens. Cette confrontation des données renforce la validité de l'analyse menée.

Mandibule	Mandal	Sungrisan	Sangsi 19	Sangsi 20	Sangsi 53
Corps mandibulaire	X	X	X	F	X
Branche montante (D)	F	F	-	-	X
Branche montante (G)	F	F	X	F	X
Condyle (D)	-	-	-	-	X
Condyle (G)	X	-	F	-	X
Apophyse coronoïde (D)	-	-	-	-	X
Apophyse coronoïde (G)	F	-	X	-	F
Région goniale	X	X	F	-	X
Dents (G)	M2, M3	-	-	M1, M2, M3	M1
Dents (D)	M2	M1, P4 (F)	-	-	M1
Symphise	X	X	F	-	X

< Tableau 2 > État de conservation des mandibules d'hominines anciens de la Péninsule coréenne ;

X : Conservé, F : Fragmentaire, - : Non conservé



< Figure 4 > Mandibule Sungirisan et Mandal (A : Sungirisan, B : Mandal)

c. Autres sites d'Asie

Parmi les spécimens asiatiques intégrés à cette étude, plusieurs mandibules provenant de sites majeurs ont été retenues en raison de la qualité des données disponibles sur leur état de conservation. À Zhoukoudian (Chine), la mandibule étudiée est bien documentée dans les travaux de Wu *et al.* (2006) et Wu & Poirier (1995), qui en fournissent une description détaillée. Ces sources permettent d'évaluer indirectement son intégrité osseuse et dentaire à partir des données publiées, en l'absence d'accès direct au spécimen original.

Le site de Tam Pà Ling (Laos) a livré plusieurs fossiles attribués à *Homo sapiens*, dont la mandibule de TPL2. Leur état de conservation est décrit de manière précise dans les publications de Demeter *et al.* (2015) et Freidline *et al.* (2020), mais un tableau détaillé présentant l'état de conservation de la mandibule TPL2 a été élaboré (Tabl.3).

Le modèle 3D de TPL2, utilisé ici et mis à disposition par l'équipe de Fabrice Demeter pour les analyses morphométriques, a été généré par microtomographie à rayons X à l'aide du scanner micro-CT v|tome|x L 240 (GE Sensing & Inspection Technologies, Phoenix X|ray), sur la plateforme AST-RX du Muséum national d'Histoire naturelle (Paris). Le spécimen complet a été numérisé avec une résolution isotropique de 60 μm , permettant une restitution fine des structures dentaires et corticales (Demeter *et al.* 2015). Ce niveau de détail autorise des comparaisons morphométriques précises avec les autres spécimens du corpus.

Enfin, les mandibules de Usu-Moshiri (Hokkaidō, Japon) ont été étudiées directement au laboratoire lors d’une mission effectuée en 2025. L’observation des spécimens originaux a permis une évaluation de leur état de conservation, appuyée par des relevés métriques, morphologiques et une documentation photographique inédite.

Le < Tableau 3 > suivant synthétise l’état de conservation des mandibules provenant des sites de Zhoukoudian, Tam Pà Ling et Usu-Moshiri, telles qu’intégrées à cette étude.

Mandibule	UC 101	TPL2	18B	18D	18F	18H	18J
Corps mandibulaire	X	X	X	X	X	X	X
Branche montante (D)	X	F	X	X	X	X	X
Branche montante (G)	X	F	X	X	X	X	X
Condyle (D)	X	-	X	X	X	X	X
Condyle (G)	X	-	X	X	X	F	F
Apophyse coronoïde (D)	X	-	F	X	X	F	F
Apophyse coronoïde (G)	X	-	F	X	X	F	F
Région goniale	X	X	X	X	X	X	X
Dents (G)	X	M3, M2, M1 (F)	P3, I2, I1	X	X	M3, M2, M1	M1
Dents (D)	X	M3, M2, M1, P4, P3 (F)	I1	X	X (sauf P3, I1)	M1	X (sauf I2, I1)
Symphyse	X	F	X	X	X	X	X

< Tableau 3 > État de conservation des mandibules de Zhoukoudian (UC 1962-75/UC 101), Tam Pà Ling (TPL2) et Usu-Moshiri (18B, D, F, H, 18J) ; *X* : *Conservé*, *F* : *Fragmentaire*, *-* : *Non conservé*

2.3. Matériels de comparaison

A. Les hominines anciens d’Eurasie et d’Afrique

Afin de situer les fossiles coréens dans un contexte comparatif plus large, cette étude mobilise un ensemble de mandibules fossiles issues de collections de référence. Les spécimens sélectionnés proviennent de différents sites d’Eurasie, d’Afrique et d’Océanie, et sont conservés principalement à l’Institut de Paléontologie Humaine (IPH) et au musée de l’Homme (MdH). Ils couvrent une grande variation morphologique, géographique et chronologique, allant du Pléistocène moyen au Pléistocène supérieur.

Cette sélection comprend des représentants d’*Homo sapiens* et d’*Homo neanderthalensis*, offrant un cadre de comparaison pertinent sur le temps long pour l’interprétation des caractères morphologiques observés sur les mandibules coréennes. Le choix des spécimens repose sur plusieurs critères : la disponibilité des moulages, l’accès à des descriptions détaillées de leur état de conservation, ainsi que leur représentativité géographique et chronologique.

Les mandibules sélectionnées proviennent des sites du Levant (Skhul, Qafzeh, Tabun, Amud, Ohalo), d'Asie du Sud-Est (Wadjak), d'Australie (Kow Swamp), d'Afrique du Sud (Cape Flats), d'Afrique du Nord (Taforalt), d'Europe (Cro-Magnon, Saint-Germain-la-Rivière). Le < Tableau 4 > présente les principales données associées à ces mandibules : numéro d'inventaire, nom, provenance, espèce, nature du spécimen, datation et méthode de datation.

N° Inventaire	Nom	Nature du spécimen	Espèce	Pays	Datation (ka BP)	Méthode de datation	Référence
MNHN-HA-27350	Skhul V	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Israël	130–100	U-série + ESR	Grün et al., 2005
MNHN-HA-27830	Qafzeh 9	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Israël	100–90	ESR et thermoluminescence	Schwarcz et al., 1988 ; Valladas et al., 1988
MNHN-HA-28130	Amud I	Moulage	<i>Homo neanderthalensis</i>	Israël	60–50	ESR et thermoluminescence	Valladas et al., 1999 ; Rink et al., 2001
MNHN-HA-27349	Tabun	Moulage	<i>Homo neanderthalensis</i>	Israël	34 ± 5	U-série (spectrométrie gamma)	Schwarcz et al., 1998
1962-47	Wadjak II	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Indonésie	37–28	AMS, U-série, radiocarbonate	Storm, 1995 ; Storm et al., 2013
Taf XI-B-C2 1968-1	Taforalt	Fossile original	<i>Homo sapiens</i>	Maroc	~22 000 (début LSA Iberomaurensien)	Radiocarbonate calibré (AMS), OSL	Barton et al., 2013 ; Barton et al., 2015 ; Hogue, 2014
Taf XII-C1 1968-1							
Taforalt XIV							
Taforalt 1968-1 N.1							
Taforalt 1968-1 N.2							
Taforalt 1968-1 N.3							
Taforalt 1968-1 N.4							
Taforalt 1968-1 N.5							
Taforalt 1968-1 N.6							
MNHN-HA-34959	Cro-Magnon I	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	France	27.68 ± 0.27	AMS sur coquille associée	Henry-Gambier, 2002
Ohalo II	Ohalo II	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Israël	22.5	Radiocarbonate calibré	Nadel et al., 1995
Kow Swamp 5	Kow Swamp	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Australie	22–19	OSL sur sédiments	Stone & Cupper, 2003
					13–9	Radiocarbonate os/coquilles	Thorne, 1969, 1975, 1976

1955.13.01	Saint-Germain-la-Rivière	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	France	15.78 ± 0.2	Radiocarbone direct (côte)	Henry-Gambier et <i>al.</i> , 2000
1954-10	Cape Flats	Moulage	<i>Homo sapiens</i>	Afrique du Sud	—	—	—

< Tableau 4 > Inventaire des mandibules de comparaison (fossiles et moulages, classés par ordre chronologique)

Le tableau récapitulatif suivant détaille l'état de conservation des mandibules étudiées. Il permet d'évaluer la qualité et la complétude des spécimens disponibles pour les analyses morphométriques. Certaines observations ont été réalisées sur des moulages, ce qui peut entraîner des lacunes ou des imprécisions dans la description de certains détails anatomiques. Ces limitations ont été prises en compte dans l'interprétation des résultats. Le < Tableau 5 > présente l'état de conservation des différentes régions anatomiques des mandibules fossiles sélectionnées (corps mandibulaire – CM, branche montante - BM, apophyse coronoïde - AC, région goniale - RG, dent, symphyse – S).

Spécimen	CM	BM (D)	BM (G)	C(G)	C(D)	AC (G)	AC (D)	RG	D(G)	D(D)	S
MNHN-HA-27350 (Skhul V)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X (sauf P3)	X
MNHN-HA-27830 (Qafzeh 9)	F	F	X	F	X	F	X	X	X	F	F
MNHN-HA-28130 (Amud I)	X	X	X	F	F	F	F	X	X	X	X
MNHN-HA-27349 (Tabun)	X	X	X	F	F	F	F	F	X	X	X
1962-47 (Wadjak II)	X	X	-	-	X	-	F	F	X (sauf P3-P4)	X (sauf P3-P4)	X
Kow Swamp	X	X	X	X	X	F	X	X	X (sauf M3-M2)	X (sauf M2-M1)	X
Ohalo II	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MNHN-HA-34959 (Cro-Magnon I)	X	X	F	-	F	-	F	F	-	-	X
1955.13.01 (St-Germain)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X (sauf I1)	X

Taforalt XI-B-C2	X	X	X	X	X	X	X	X	M3, M2, M1, C	M3, M2, M1, P4, I2 (F)	X
Taforalt XII-C1	X	X	X	X	X	X	X	X	M3, M2, M1, P4, P3 (x2)	M3, M2, M1, P4, C, I2 (F)	X
Taforalt XIV	X	F	X	X	-	X	-	X	X (sauf I1)	X (P1-F)	X
Taforalt N.1	X	X	F	-	X	F	X	F (G)	M3, I2	M3, M2, I2	X
Taforalt N.2	X	X	X	F (G)	X	X	X	F (D)	M2, M1, P4 (M3, C, I2, I1 – F)	X (P4, C, I2, I1 – F)	X
Taforalt N.3	X	X	X	X	X	X	X	X	M3, M2, M1, P4 (C – F)	M3, M2, M1, P3	X
Taforalt N.4	X	X	X	X	X	X	X	F (G)	X	X	X
Taforalt N.5	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X
Taforalt N.6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1954-10 (Cape Flats)	F	-	-	-	-	-	-	F (G)	X	X	X

< Tableau 5 > État de conservation des mandibules fossiles de comparaison (ordre chronologique) *X* : conservé ; *F* : fragmentaire ; *-* : non conservé

B. *Homo sapiens* actuels

Pour constituer un référentiel de comparaison représentatif, j'ai étudié quinze mandibules d'*Homo sapiens* actuels issus de chaque continent (N = 75) : Afrique, Amérique, Asie, Europe et Océanie. Ces spécimens proviennent principalement des collections anthropologiques de l'Institut de Paléontologie Humaine (IPH).

L'étude intègre deux hémi-mandibules provenant du Musée National de Corée (국립중앙박물관) ainsi que du Musée National de Gwangju (국립광주박물관). À cela s'ajoutent dix mandibules issues des collections de référence du département d'archéologie de l'Université des Philippines Diliman, enrichissant ainsi la base de données. Cette approche permet une meilleure représentation des populations récentes d'Asie de l'Est et du Sud-Est.

C. Fossiles intégrés via la documentation scientifique

Afin de mieux cerner la variation des hominines du Pléistocène supérieur, j'ai élargi mon corpus d'étude au-delà des spécimens examinés directement, en intégrant des fossiles du Pléistocène moyen à nos jours. Cet élargissement a pu être pleinement mis en œuvre dans le cadre de l'analyse métrique. En revanche, les contraintes liées à la disponibilité des données tridimensionnelles n'ont pas permis d'inclure l'ensemble de ces spécimens dans l'analyse morphométrique 3D. Cette inclusion, motivée par des considérations scientifiques, vise à replacer les spécimens coréens étudiés dans un contexte évolutif large, tenant compte des échanges biologiques et des continuités morphologiques possibles entre différentes populations. En intégrant ces groupes clés dans le cadre comparatif métrique, je cherche à éclairer les processus complexes d'évolution, d'adaptation et de mélange génétique ayant façonné la diversité morphologique observée chez les premiers *Homo sapiens* d'Asie.

Dans ce cadre, j'ai constitué un tableau synthétique (cf. Tabl.13) rassemblant les données morphologiques et métriques issues de plusieurs recherches de référence portant sur des fossiles humains du Pléistocène moyen et supérieur en Asie orientale. Ce corpus intègre notamment les mandibules du site de Minatogawa (Okinawa, Japon), décrites dans les travaux de Suzuki et Hanihara (1982), Ueda (1982), Baba et Narasaki (1991), ainsi que Kaifu et *al.* (2011). Y figurent également les spécimens issus des sites chinois de Tianyuan et Zhoukoudian, étudiés notamment par Hong et *al.* (2007). Ces données ont été complétées par celles de Wu et *al.* (2023), qui proposent une analyse récente et détaillée d'une série de fossiles humains couvrant une large gamme chronologique et géographique en Asie orientale. J'ai pu vérifier la cohérence et la robustesse de ces données en comparant certaines mesures issues de la littérature avec celles que j'ai mesurées directement sur le spécimen de UC101, Qafzeh 9 et Skhul 5, Ohalo II, Wadjak et Cro-magnon.

3. Méthodes

3.1. Analyse Morphologique

L'analyse des mandibules s'appuie sur l'examen de dix caractères morphologiques, dont la sélection répond à une double logique : d'une part, plusieurs traits ont été retenus en raison de leur usage fréquent dans la littérature paléoanthropologique, notamment pour distinguer les morphotypes humains au Pléistocène (par ex. Développement du mentum osseum, position du foramen mentonnier ou encore creusement de la fosse ptérigoïde) (Weidenreich, 1936 ; Dobson et Trinkaus, 2002 ; Peyre, 2004 ; Kaifu et *al.* 2005, Wu et *al.* 2023). D'autre part, certains caractères ont été spécifiquement intégrés à cette étude en raison de leur valeur distinctive observée dans le corpus coréen étudié lors de précédents travaux (Cachard, 2024), notamment la présence d'un sulcus extra-molaire, l'orientation du corps mandibulaire, ou encore l'éminence latérale.

Chaque caractère a été codé à l'aide de modalités qualitatives en fonction de son degré d'expression, permettant une comparaison détaillée entre les spécimens. Ces codifications sont basées sur des observations visuelles effectuées en vue de face, vue interne, vue supérieure ou vue latérale, selon le caractère à évaluer (Tabl.6).

Caractères mandibulaires	Définition des caractères	
Forme de l'arcade dentaire	Observation faite en vue occlusale	
	Parabolique	Arcade forme une courbe en U ouvert, avec un élargissement progressif vers les molaires
	Elliptique	Arcade plus arrondie et régulière, en ellipse, sans élargissement postérieur prononcé
	Uspiloïde	Arcade très resserrée à l'avant, avec angulation au niveau des canines et une ouverture postérieure étroite
Ouverture postérieure de l'arcade dentaire	Observation qualitative en vue occlusale du degré de fermeture ou d'ouverture postérieure de l'arcade mandibulaire, indépendamment de sa forme générale	

Sulcus (sillon) extra-molaire	En vue supérieure, présence ou absence d'un sillon en position latérale par rapport aux molaires et en direction de la branche montante
Éminence latérale	En vue latérale, présence ou absence d'une proéminence sur le corps mandibulaire, au niveau des molaires
Torus marginal supérieur	Éminence osseuse sur la face latérale du corps mandibulaire en partie supérieure
Torus marginal inférieur	Éminence osseuse sur la face latérale du corps mandibulaire en partie inférieure
Fosse ptérigoïde	Surface située sur la face interne de la branche montante, correspondant à la zone d'insertion des muscles ptérygoïdiens
Orientation du corps mandibulaire	Observation de l'orientation du corps de la mandibule en vue supérieure, déterminant si celle-ci est oblique vers l'extérieur (externe) ou rectiligne (droite), en tenant compte de la direction générale de la ligne médiane et de l'alignement des branches montantes de la mandibule
Position du foramen mentonnier	Position du foramen mentonnier relativement aux dents
Développement du mentum osseum (symphyse mandibulaire)	Mesure qualitative du relief osseux de la symphyse en vue de face

< Tableau 6 > Définition des caractères morphologiques observés sur les mandibules

Le codage des caractères est présenté dans le tableau suivant (Tabl.7). Parmi ces caractères, le développement du mentum osseum, correspondant à la morphologie de la symphyse mandibulaire, a été codé selon la grille établie par Dobson et Trinkaus (2002), qui distingue cinq grades. Cette classification, largement utilisée dans la littérature paléoanthropologique, permet de distinguer les profils caractéristiques des Néandertaliens, des *Homo sapiens* actuels ainsi que des formes archaïques. L'évaluation de ce caractère a été réalisée à partir d'observations en vues latérale et interne, en tenant compte du relief, de la convexité et de la projection de la symphyse mandibulaire.

Caractères mandibulaires	Grades
Forme de l'arcade dentaire	Parabolique, Elliptique, Uspiloïde
Ouverture postérieure de l'arcade dentaire	Ouverte (1), Modérément ouverte (2), Fermée (3)
Sulcus (sillon) extra-molaire	Absent (0), présent (1)
Éminence latérale	Absent (0), présent (1)

Torus marginal supérieur	Faible (1), Modéré (2), Marqué (3)
Torus marginal inférieur	Faible (1), Modéré (2), Marqué (3)
Fosse ptérigoïde	Surface plane (1), Fosse modérément creusée (2), Surface modérément proéminente (3)
Orientation du corps mandibulaire	Oblique (1), Rectiligne (2)
Position du foramen mentonnier	Entre M1 et P4, Entre P4 et P3, En dessous P4, En dessous M1
Mentum osseum (symphyse mandibulaire)	Absence de relief (1), <i>Tuber symphyseos</i> discret, profil arrondi (2), Légère projection symphysaire, sans trigonum mental marqué (3), <i>Mentum osseum</i> bien défini, avec arrondi médian (4), <i>Mentum</i> net, relief proéminent avec bord antéro-inférieur saillant (5)

< Tableau 7 > Codification des caractères mandibulaires sélectionnés pour l'étude

3.2. Analyse Métrique

A. Validation du protocole et reproductibilité des mesures

Afin de garantir la fiabilité des données métriques collectées, une phase de validation du protocole a été réalisée en amont des analyses principales. Cette étape visait à évaluer la reproductibilité intra- et inter-observateur des mesures.

L'étude a porté sur 11 spécimens du site d'Usu-Moshiri. Afin d'évaluer la fiabilité du protocole de mesure, chaque spécimen a été mesuré à plusieurs reprises par un même opérateur (erreur intra-observateur) et par un second évaluateur indépendant (erreur inter-observateur). Les configurations de mesures obtenues ont été soumises à une superposition Procrustes, suivie d'une analyse en composantes principales (ACP), réalisées sous le logiciel PAST (Hammer et al., 2001), afin de visualiser la répartition des répétitions dans l'espace morphométrique.

Les distances de Procrustes entre répétitions ont été calculées pour estimer les variations intra- et inter-observateur. La reproductibilité a été quantifiée à l'aide de coefficients de corrélation intraclass (ICC). Une analyse de variance (ANOVA) a également été menée pour distinguer la part de variance liée à l'erreur de mesure de celle attribuable aux différences biologiques entre individus. Cette démarche méthodologique a permis d'évaluer rigoureusement la fiabilité du protocole de collecte des données métriques avant le lancement des analyses principales.

B. Variation métrique et résultat statistique

L'analyse métrique a constitué une étape essentielle pour situer les spécimens étudiés dans la variation morphologique des hominines fossiles. Elle a porté à la fois sur des originaux, des moulages et des données extraites de la littérature scientifique (Shang *et al.*, 2007 ; Kaifu *et al.*, 2011 ; Demeter *et al.*, 2015 ; Wu *et al.*, 2023...).

Une partie des mesures a été réalisée sur des moulages de mandibules. Dans ce cadre, il convient de souligner qu'une marge d'erreur est possible. Afin d'en limiter l'impact, les mesures obtenues ont été systématiquement comparées à celles publiées, lorsque ces données étaient disponibles. Cette confrontation a permis de vérifier la cohérence des relevés et d'assurer la fiabilité des mesures prises sur moulages.

Les mandibules ont été mesurées directement par mes soins. Toutes les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse (PC) et d'un mandibulomètre (M), en fonction du type de relevé et de la configuration du spécimen.

L'étude a commencé avec un pied à coulisse en métal. Toutefois, dans les collections des Musées Nationaux de Corée, son usage n'était pas autorisé pour des raisons de conservation. Un pied à coulisse en plastique a donc été utilisé. Afin de vérifier la fiabilité de ce dernier, vingt spécimens ont été mesurés avec les deux instruments : les différences relevées étaient minimales, confirmant la précision du pied à coulisse en plastique dans ce contexte.

Au Japon, une méthode différente a été employée pour mesurer la longueur de la mandibule, adaptée aux spécimens et aux outils disponibles. Cette méthode consistant en positionnant un bâton en métal en vue basale sur la partie postérieure des gonions, puis de mesurer la distance du point central de la barre à la symphyse mandibulaire. En revanche, la hauteur de la branche montante a été relevée à l'aide du pied à coulisse à partir du gonion, comme cela a également été fait en France et en Corée.

Aux Philippines, l'absence de mandibulomètre a empêché la prise de certaines mesures selon la méthode standard, telles que la longueur de la mandibule ou l'angle goniale, mais la hauteur de la branche montante a pu être mesurée de manière identique grâce au pied à coulisse.

La comparaison des mesures de hauteur de la branche montante obtenues avec le mandibulomètre et le pied à coulisse n'a révélé aucune différence significative ($t = 1,06$; $p =$

0,289). Les intervalles de confiance autour de la différence moyenne incluent 0, et les tests de permutation ou de Welch confirment ce résultat. Ces résultats indiquent que les deux instruments fournissent des mesures comparables pour cette variable.

En complément des mesures définies spécifiquement pour cette étude, une partie des abréviations et des protocoles de mesure ont été établis en se référant aux standards classiques décrits par Martin (1928) dans son *Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung*. Ce référentiel, encore largement utilisé en anthropologie biologique a permis d'intégrer dans nos analyses les données issues de la littérature.

L'ensemble des abréviations utilisées dans l'analyse métrique, ainsi que la définition de chaque mesure et l'instrument de mesure correspondant, sont présentés dans le < Tableau 8 >, afin de garantir la reproductibilité de la méthodologie.

Abréviation	Mesure	Définition des mesures	Outil de mesure
M68	Longueur de la mandibule	Distance du Pogonion au plan tangent à la partie postérieure des condyles	M
		Distance au point central entre les deux gonions et au Pogonion	PC et bâton en fer (Japon)
AG	Angle goniale	Angle entre la tangente au bord postérieur de la branche montante et du condyle avec le plan inférieur du corps de l'os	M
M70	Hauteur de la branche montante	Distance entre le gonion et le sommet du condyle gauche	M
			PC
M71	Largeur de la branche montante	Distance minimale entre les bords antérieur et postérieur de la branche gauche	PC
Ebm	Épaisseur de la branche montante	Épaisseur prise perpendiculairement au plan de base, en dessous du foramen mentonnier, entre la face interne et externe de la branche	PC
M65	Largeur bicondylienne	Distance minimale entre les points externes des condyles	PC
M66	Largeur bigoniale	Distance maximale entre les gonions	PC

M69	Hauteur de la symphyse	Distance entre l'infraorbitale et le gnathion	PC
Es	Épaisseur de la symphyse	Épaisseur en projection mesurée entre les faces interne et externe au niveau de la symphyse au dessus de l'épine mentale	PC
M69(2)	Hauteur molaire entre M2-M3	Hauteur prise entre M2 et M3, entre le bord alvéolaire antérieur et le bord inférieur de l'os	PC
M69b	Épaisseur molaire entre M2-M3	Épaisseur en projection mesurée entre les faces interne et externe du corps mandibulaire au niveau M2 et M3	PC
AM2-3	Largeur de l'arcade dentaire entre M2-M3	Distance entre les faces internes des M2 et M3, mesurée au niveau occlusal	PC
ECP3	Épaisseur molaire entre C-P3	Épaisseur en projection mesurée entre les faces interne et externe du corps mandibulaire au niveau C-P3	PC
AC-P3	Largeur de l'arcade dentaire entre C-P3	Distance entre les faces internes des C-P3, mesurée au niveau occlusal	PC

< Tableau 8 > Définition des mesures prises sur les mandibules

A partir des mesures linéaires, plusieurs indices mandibulaires ont été calculés (Tabl.9). Ces indices permettent de comparer les proportions relatives des différentes parties de la mandibule, indépendamment de la taille absolue.

Abréviation	Nom de l'indice	Formule
M68/M65	Indice mandibulaire	$(\text{Longueur totale mandibule} / \text{Largeur bicondylienne}) \times 100$
M68/M66	Indice de proportion mandibulaire	$(\text{Longueur totale mandibule} / \text{Largeur bigoniaque}) \times 100$
M71/M70	Indice de la branche montante	$(\text{Largeur branche montante} / \text{Hauteur branche montante}) \times 100$
Es/M69	Indice de robustesse symphysaire	$(\text{Épaisseur} / \text{Hauteur symphyse}) \times 100$
IrP	Indice de robustesse au niveau des prémolaires	$(\text{Épaisseur} / \text{Hauteur du corps entre P3-P4}) \times 100$
M69b/M69(2)	Indice de robustesse au niveau des molaires	$(\text{Épaisseur} / \text{Hauteur du corps entre M2-M3}) \times 100$

< Tableau 9 > Définition des indices mandibulaires utilisés dans l'étude

Les données ont été organisées et traitées à l'aide des logiciels Excel et PAST (Hammer et *al.*, 2001). Ces outils ont permis la réalisation de graphiques univariés, bivariés et d'analyses en composantes principales (ACP) ainsi que la conduite de diverses analyses statistiques.

La normalité des distributions a été testée à l'aide de plusieurs tests statistiques (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera). Compte tenu des résultats, des tests non paramétriques, notamment les tests de Mann-Whitney U, ont été privilégiés pour les comparaisons entre variables. Des analyses de variance (ANOVA) ont également été conduites pour estimer la proportion de variance attribuable aux différences biologiques par rapport à celles liées aux erreurs de mesure.

3.3. Morphométrie 3D

L'analyse morphométrique a été conduite afin de quantifier et de comparer la variation morphométrique des mandibules au sein d'un corpus varié, comprenant à la fois des hominines du Pléistocène supérieur, ainsi que des représentants d'*Homo sapiens* actuels, et incluant le sujet de cette étude : les mandibules d'*Homo sapiens* du Pléistocène supérieur de la Péninsule coréenne. Cette approche repose sur la technique des points-repères (landmarks et semi-landmarks), permettant de capturer la conformation géométrique des objets étudiés de manière reproductible et rigoureuse. L'ensemble des analyses a été effectué à l'aide des logiciels Agisoft Metashape, MeshLab, 3DSlicer ainsi que de l'environnement statistique R.

A. Photogrammétrie

L'acquisition des modèles 3D a été réalisée par photogrammétrie, à partir de séries de photographies numériques prises sous différents angles. Ce protocole, initialement mis en place l'année précédente dans le cadre d'un travail avec le Flex Scan 3D sur trois crânes d'*Homo sapiens* actuels de Corée du Sud issus de la collection Varat du musée de l'Homme (Cachard, 2024), a été repris et étendu cette année à l'ensemble des mandibules disponibles. Chaque spécimen a été photographié selon une procédure standardisée, à l'aide d'un appareil Panasonic Lumix DC-GX9 muni d'un objectif de 40 mm, utilisé principalement à une focale de 32 mm ou 20 mm selon le spécimen. L'appareil a été monté sur un trépied à une hauteur constante, afin d'assurer une distance fixe entre l'objectif et le spécimen. Pour chaque mandibule, trois orientations principales de prises de vue ont été réalisées : une vue centrale par le dessus, une

vue basale, ainsi que des vues latérales, chacune constituant un cycle de prises comportant entre 16 et 20 positions.

Dans le cas des séries de photographies réalisées dans les collections du Musée national de Corée et du Musée national de Gwangju, l'utilisation d'un trépied n'a pas été autorisée par les institutions. Malgré cette contrainte, les prises de vue ont pu être effectuées avec un minimum de mouvement, grâce à la collaboration des conservatrices, qui ont elles-mêmes actionné la plaque tournante afin d'assurer la stabilité nécessaire à la capture des images.

Les prises de vue ont été réalisées à $f/22$ (et parfois $f/7.1$), avec un temps d'exposition variant entre $1/320$ sec et 1,3 sec, et une sensibilité ISO de 800. Pour éviter les flous de mouvements liés à la pression directe sur le déclencheur, l'appareil a été déclenché manuellement avec précaution, en veillant à ne pas provoquer de vibrations. Bien qu'aucun déclencheur sans fil n'ait été utilisé, la stabilité du dispositif a été assurée grâce à l'usage d'un trépied robuste et à une attention particulière portée lors de chaque prise de vue.

Les images ont été enregistrées aux formats JPEG et RAW, avec une résolution de 5184×3456 pixels, en 24 bits et 180 dpi. Une fois les photographies importées dans le logiciel Agisoft Metashape, celui-ci procède à un alignement automatique des images, identifiant les points homologues entre elles afin de reconstruire la position relative de chaque cliché dans l'espace. Cette étape génère un nuage de points clairsemé, constituant une première approximation tridimensionnelle de la forme de l'objet.

Ensuite, un nuage de points dense est créé à partir de cette base, permettant la génération d'une surface maillée détaillée. La qualité de ce maillage est ajustée en fonction de la complexité morphologique du spécimen afin de garantir une précision géométrique optimale. Une texture photoréaliste est alors appliquée à la surface du modèle à partir des données colorimétriques issues des photographies originales.

Après cette reconstruction, un nettoyage manuel est parfois réalisé pour retirer les artefacts ou éléments parasites. Enfin, les modèles 3D finaux sont exportés dans des formats standards (OBJ, STL, PLY) afin d'être utilisés pour les étapes suivantes, notamment la digitalisation des landmarks et les analyses morphométriques. L'ensemble du processus de modélisation a ainsi permis de produire des objets numériques précis et fidèles aux spécimens originaux.

B. Prétraitement des modèles 3D : fusion et mise à l'échelle

Dans plusieurs cas, les mandibules n'ont pas pu être modélisées en une seule séquence photographique complète, en raison de contraintes liées à la manipulation ou à l'accessibilité des spécimens. Pour ces spécimens, deux séries de photographies ont été prises, correspondant généralement à une vue supérieure et une vue inférieure, chacune traitée indépendamment dans le logiciel Agisoft Metashape.

Cependant, l'assemblage automatique de ces deux séries s'est révélé inefficace dans certains cas, en raison d'un recouvrement insuffisant ou d'un manque de points homologues permettant l'alignement. Afin de surmonter ces limitations et d'assurer la continuité morphologique des modèles, un prétraitement a été réalisé dans le logiciel CloudCompare. Cette étape a permis de fusionner manuellement les deux modèles reconstruits, garantissant ainsi leur compatibilité dimensionnelle.

Après export des deux modèles issus des prises en vue supérieure et inférieure de la mandibule, obtenus respectivement à partir de séries d'images, sous forme de maillages (formats STL ou PLY), ceux-ci ont été importés dans CloudCompare pour un traitement séparé. Une vérification préalable des échelles relatives a été réalisée en mesurant des distances anatomiques connues directement sur les surfaces 3D. Cette étape a permis de détecter d'éventuels écarts de proportions. En cas de divergence, une transformation géométrique a été appliquée pour ajuster l'échelle en fonction de la référence choisie.

Une fois les deux modèles mis à l'échelle de manière cohérente, leur alignement spatial a été réalisé à l'aide de l'algorithme d'enregistrement ICP (Iterative Closest Point), permettant un ajustement fin de leur position relative à partir de leur géométrie de surface. L'alignement a été validé visuellement en vérifiant la continuité des structures mandibulaires dans les zones de jonction. Lorsque l'ajustement a été jugé satisfaisant, les deux modèles ont été fusionnés en un seul maillage, produit un modèle unifié. Ce modèle final, fusionné et mis à l'échelle, a ensuite été exporté au format STL pour être utilisé dans les étapes suivantes du protocole morphométrique. Cette procédure, bien qu'intermédiaire, a permis d'intégrer efficacement des spécimens qui n'auraient pas pu être analysés autrement, tout en garantissant la précision géométrique et la standardisation nécessaire à une analyse comparative rigoureuse.

C. Acquisition des repères morphométriques

a. Sélection et conservation des spécimens

Le corpus étudié se base principalement sur des mandibules fossiles et comprenant à la fois des mandibules complètes et des hémimandibules. Le faible taux de conservation de la branche montante dans le corpus fossile (absente de manière totale ou partielle pour 10 spécimens sur 31) nous a obligés à nous concentrer sur la pose de points sur l'hémimandibule gauche et sur le corps mandibulaire principalement. Ces choix sont justifiés par les analyses morphologiques et métriques démontrant des caractéristiques particulières des mandibules de la péninsule coréenne au niveau du corps mandibulaire. Le spécimen Sangsi 20 a été exclu de l'étude car le corps mandibulaire est trop fragmentaire. Le spécimen Wadjak A 1939.9 a été également exclu, car le corps mandibulaire jusqu'à la branche montante gauche n'est pas conservé. Le spécimen Kowswamp 5 a été supprimé, car il a été impossible de poser les landmark au niveau des M2 et M3. Le détail des spécimens étudiés est présenté dans le tableau en annexe (cf. Tabl.14).

b. Définition et pose des repères morphométriques

Dans le cadre de cette étude morphométrique 3D des mandibules, une série de landmarks anatomiques (points fixes) et de semi-landmarks (points glissants) a été définie sur la base de leur pertinence morphologique, de leur répétabilité et de leur capacité à capturer la variation globale de la forme mandibulaire. Le choix de ces repères s'appuie sur plusieurs protocoles reconnus en morphométrie géométrique appliquée à la mandibule humaine, qu'ils soient développés dans des contextes paléanthropologiques, cliniques, médico-légaux ou encore dans le cadre d'analyses portant sur la variation morphologique, la reconstruction 3D ou le dimorphisme sexuel (Soucasse, 2004 ; Benazzi et *al.*, 2009 ; Costa-Mendes et *al.*, 2021 ; Gunz et Mitteroecker, 2013 ; Vila-Blanco et *al.*, 2021 ; Fournier et *al.*, 2023). Ces points ont été placés manuellement sur chaque spécimen par mes soins, en suivant un protocole standardisé.

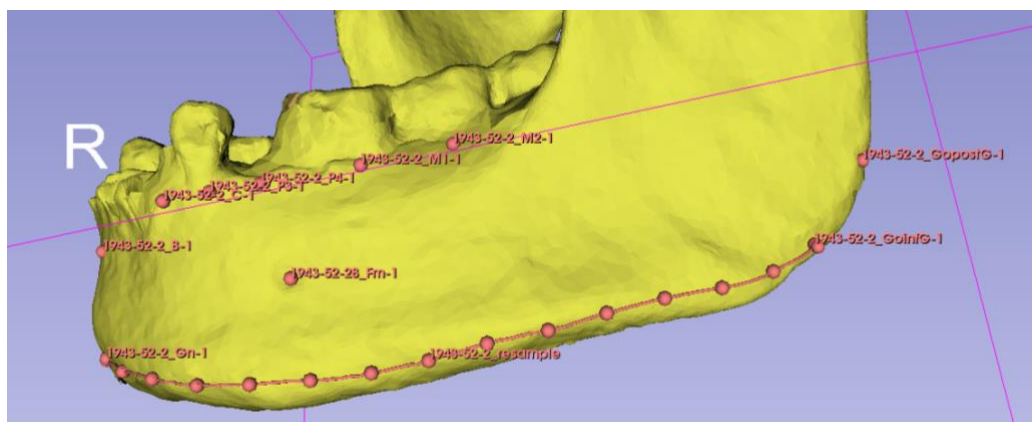
Le < Tableau 10 > présente les onze landmarks retenus pour cette étude, accompagnés de leur nom et leur description anatomique.

N°	Abrév.	Nom	Description anatomique
1	Gn	Gnathion	Point le plus inférieur, situé sur la ligne médiane de la symphyse mandibulaire
2	B	Point B (supramentale)	Point situé sur le creux le plus postérieur sur la symphyse
3	Go-inf G	Gonion inférieur gauche	Point situé à l'angle postéro-inférieur de la mandibule, à l'intersection entre le bord inférieur du corps mandibulaire et le bord postérieur de la branche montante

4	Go-post G	Gonion postérieur gauche	Point situé sur le bord postérieur de la branche montante, à hauteur du foramen mentonnier, marquant l'extrémité supérieure de l'angle mandibulaire
5	Fm	Foramen mentonnier	Point situé à l'extrémité inféro-médiale du foramen mandibulaire sur la face interne de la branche montante
6	FmA	Foramen mandibulaire	Point inféro-médial du foramen mandibulaire sur la face interne de la branche montante
7		M ₂	Point sur l'arcade alvéolaire au niveau de la M2 sur la face externe du corps mandibulaire
8		M ₁	Point sur l'arcade alvéolaire au niveau de la M ₁ sur la face externe du corps mandibulaire
9		P ₄	Point sur l'arcade alvéolaire au niveau de la P ₄ sur la face externe du corps mandibulaire
10		P ₃	Point sur l'arcade alvéolaire au niveau de la P ₃ sur la face externe du corps mandibulaire
11		C	Point sur l'arcade alvéolaire au niveau de la C sur la face externe du corps mandibulaire

< Tableau 10 > Définition des landmarks anatomiques fixes utilisés

La < Figure 5 > illustre la pose des landmarks fixes et des semi-landmarks sur le modèle 3D de la mandibule 1943-52-2. Cette visualisation permet de mieux appréhender la distribution spatiale des points et leur rôle dans la capture de la morphologie mandibulaire.



< Figure 5 > Pose des landmarks et semi-landmarks sur le modèle 1943-52-2

Les semi-landmarks sont utilisés pour mieux capturer la forme des courbes et des surfaces complexes, notamment dans les zones où les landmarks fixes sont peu nombreux. Ces points permettent d'échantillonner de manière homogène et régulière les contours et les reliefs de la mandibule, tout en étant ajustés par un algorithme de « glissement » (sliding) afin de minimiser la variation non anatomique liée au positionnement initial, tout en garantissant leur homologie.

L'utilisation de semi-landmarks complète ainsi l'information fournie par les landmarks fixes, en augmentant la résolution morphologique des zones complexes et en améliorant la qualité

des comparaisons interspécifiques ou intra-spécifiques (Gunz et Mitteroecker, 2013 ; Costa Mendes et *al.*, 2021).

Dans le cadre de cette étude, une série unique de semi-landmarks a été sélectionnée en fonction de la surface mandibulaire préservée et des zones les plus informatives. Plus précisément, une série de 15 points ont été placés sur le bord inférieur du corps mandibulaire, répartis entre la symphyse (gnathion) et l'angle goniale, une région particulièrement caractéristique des mandibules de la péninsule coréenne (à savoir la courbure basale et l'épaisseur inférieure du corps). Ce choix permet de maximiser la comparabilité entre les individus tout en intégrant les spécimens partiellement fragmentés dans l'analyse morphométrique.

c. Environnement logiciel et traitement des données

Les modèles 3D des mandibules ont été importés et visualisés dans le logiciel 3D Slicer, un environnement open-source utilisé en imagerie 3D. L'extension SlicerMorph a été utilisée pour le placement manuel ou semi-automatique des points de repère (landmarks et semi-landmarks) sur les surfaces osseuses, ainsi que pour l'extraction des coordonnées tridimensionnelles nécessaires aux analyses morphométriques.

Les données exportées ont ensuite été traitées dans l'environnement R, à l'aide de plusieurs packages spécialisés. Le package geomorph a été mobilisé pour les superpositions Procrustes, l'analyse en composantes principales (ACP) et les comparaisons de formes. Les packages readxl, dplyr et tidyr ont été utilisés pour l'importation, le nettoyage et la structuration des jeux de données, tandis que abind a permis de manipuler les tableaux multidimensionnels contenant les coordonnées des landmarks.

Pour l'analyse statistique complémentaire, les packages FSA et car ont été utilisés pour effectuer des tests de significativité, notamment des ANOVA, des tests de permutation et des analyses de variance multivariées (MANOVA). Le package reshape2, quant à lui, a facilité la transformation des données pour permettre des analyses plus flexibles. En ce qui concerne la visualisation, ggplot2, ggforce et ggrepel ont été mobilisés pour produire des représentations graphiques précises et lisibles, notamment l'affichage du morphospace, des diagrammes de dispersion et des flèches de variation. Les visualisations interactives en 3D ont été générées à l'aide du package rgl, tandis que les exports d'images ont été facilités par l'utilisation combinée de webshot2 et de l'outil ImageMagick.

Enfin, les packages FactoMineR et factoextra ont été employés pour approfondir l'exploration des composantes principales et visualiser de manière synthétique les relations entre variables et individus. Cette intégration d'outils variés a permis de standardiser et de fluidifier l'ensemble du flux de travail, depuis l'acquisition des données morphométriques jusqu'à leur visualisation et leur interprétation statistique.

D. Traitements statistiques

a. Test intra observateur

La première étape du traitement statistique a consisté à évaluer la fiabilité des données collectées, en faisant une analyse de l'erreur intra-observateur. L'erreur intra-observateur a été estimée en répétant plusieurs fois la pose des landmarks sur un même sous-échantillon de spécimens, à différents moments, par le même opérateur. Pour quantifier la cohérence des mesures, le coefficient de corrélation intraclass (ICC) a été utilisé.

b. Analyses morphométriques

Une fois la qualité des données validée, les configurations de landmarks ont été soumises à une superposition Procrustes généralisée (Gunz et Motteroecker, 2013). Cette procédure effectue une translation, une rotation et une mise à l'échelle des différentes configurations de points, ce qui permet de neutraliser les effets liés à la position, à l'orientation et à la taille. En ramenant tous les spécimens dans un même espace morphométrique, elle permet d'isoler la variation pure de la forme, indépendante des dimensions absolues des mandibules. Dans ce cadre, les semi-landmarks, positionnés sur des zones courbes ou peu définies anatomiquement, ont été ajustés par glissement, selon le critère de minimisation de l'énergie de déformation (bending energy). Cette méthode permet de repositionner ces points de manière optimale tout en respectant leur correspondance anatomique, réduisant ainsi les effets d'un placement arbitraire initial.

Afin de visualiser et d'interpréter les grandes tendances de variation morphologique, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les coordonnées Procrustes des configurations alignées. Cette analyse permet d'identifier les axes majeurs de variation au sein de l'échantillon et de projeter les spécimens dans un morphospace. Ce morphospace constitue un outil fondamental pour l'exploration des différences morphologiques entre individus, pour la détection de patrons spécifiques à certains contextes géographiques ou temporels, ou encore

pour l'examen de phénomènes comme la réduction morphologique, l'élargissement symphysaire ou la variation de courbure du bord inférieur mandibulaire.

En complément de l'étude de la forme, une analyse de la taille isométrique a été menée à partir du Centroid Size, défini comme la racine carrée de la somme des distances quadratiques entre chaque point et le centre de gravité de la configuration. Ce paramètre permet d'estimer la taille globale d'un spécimen de manière indépendante de sa forme. Les valeurs obtenues ont été comparées entre les groupes étudiés à l'aide du test de Kruskal-Wallis, et visualisées au moyen de diagrammes de type « boîte à moustaches », permettant d'identifier les tendances générales ainsi que les éventuelles disparités intra- ou inter-groupes.

Les analyses de la forme ont été réalisées via une analyse en composantes principales (ACP) sur les coordonnées Procrustes et les semi-landmarks. Les projections selon les différents axes principaux ont permis d'explorer la variation morphologique selon l'origine géographique, la période, et l'espèce. Les distances de Procrustes de chaque spécimen par rapport à la moyenne générale ont également été calculées et analysées. Les déformations minimales et maximales ont été visualisées sur la grille Procrustes pour illustrer les variations morphologiques.

Enfin, l'ensemble des résultats statistiques a été restitué sous forme de représentations graphiques facilitant l'interprétation : morphospaces illustrant les positions relatives des spécimens selon les principaux axes de l'ACP, ainsi que des visualisations vectorielles des déformations de forme le long de ces axes. Ces outils permettent de mettre en évidence les regroupements ou divergences entre individus ou groupes, et de documenter précisément les transformations anatomiques associées à chaque direction principale de variation.

4. Résultats

4.1. Analyse morphologique

L'analyse morphologique des mandibules repose sur des caractères qui permettent d'évaluer le degré de variation morphologique des spécimens coréens et leur position dans la variation du Paléolithique moyen à nos jours.

Tout d'abord, chez l'ensemble des spécimens coréens étudiés, l'arcade dentaire présente une forme globalement parabolique, typique des *Homo sapiens*, qu'ils soient archaïques ou récents. Toutefois, une variation est perceptible dans le degré d'ouverture postérieure de l'arcade, observée en vue occlusale. Mandal et Sungrisan présentent une arcade plus refermée vers l'arrière, correspondant aux grades 2 ou 3 dans notre grille d'évaluation (ouverture modérément étroite à très étroite). Tandis que Sangsi 19, 20 et 53 se situent entre grade 1 et 2 et se rapproche donc plus des populations actuelles. Cette fermeture postérieure, bien que compatible avec la variabilité intra-spécifique, tend à singulariser Mandal et Sungrisan par rapport aux populations actuelles, chez lesquelles une ouverture plus large est généralement observée.

Le sulcus extra-molaire, un sillon situé en arrière de la M3 jusqu'à la branche montante, est systématiquement observé chez les spécimens de Mandal et Sungrisan, où il est nettement visible et étendu jusqu'à la branche montante. Il est également présent sur les mandibules de Sangsi 19, 20 et 53, bien que sous une forme plus courte que celle observée sur les spécimens provenant de Corée du Nord. Ce caractère est absent chez la quasi-totalité des *Homo sapiens* actuels, qu'ils soient d'Asie, d'Europe ou d'Afrique. Il est absent, chez les *Homo sapiens* archaïques observés ici.

L'éminence latérale, correspondant à une saillie osseuse sur la face externe du corps mandibulaire, est observée de façon variable chez les fossiles coréens. Elle est exprimée chez les spécimens de Sangsi 19, 20 et 53, mais de manière plus modérée que sur Mandal et Sungrisan, où elle est plus fortement marquée, notamment entre M1 et M3. En comparaison, cette éminence est absente ou très faiblement exprimée chez la quasi-totalité des *Homo sapiens* actuels, y compris ceux d'Asie de l'Est (comme les spécimens d'Usu-Moshiri). Chez les *Homo sapiens* archaïques, elle peut apparaître, mais reste globalement peu fréquente et peu développée. En revanche, la mandibule TPL2 n'exprime pas cette éminence, se rapprochant des formes graciles d'Asie du Sud-Est (Demeter et *al.*, 2015). Chez les Néandertaliens, cette structure est généralement très marquée, traduisant une forte robustesse mandibulaire liée à des insertions musculaires puissantes.

Chez les spécimens coréens, le torus marginal supérieur est généralement bien développé, avec des intensités variant entre les grades 2 et 3. Le torus marginal inférieur est quant à lui systématiquement marqué, atteignant le grade maximal 3 chez la plupart des mandibules étudiées. Cette robustesse osseuse dépasse nettement celle observée chez les *Homo sapiens* actuels, où les torus supérieurs et inférieurs restent souvent discrets, ne dépassant que rarement le grade 2, voire étant absents.

Comparativement, les *Homo sapiens* archaïques présentent une variation plus grande : leur torus marginal supérieur oscille le plus souvent entre les grades 1 et 2, tandis que les torus marginaux inférieurs, bien que parfois marqués (grade 2 à 3), ne montrent pas la constance ni l'intensité observée dans les fossiles coréens. La mandibule TPL2 illustre une morphologie plus gracile avec des torus peu marqués, proches des valeurs observées chez les populations actuelles (Demeter et *al.*, 2015). Cette différence souligne la spécificité morphologique des fossiles coréens, qui présentent une robustesse mandibulaire plus marquée que celle observée dans la plupart des populations actuelles, chez lesquelles la prévalence et l'expression du torus mandibularis varient considérablement selon l'origine géographique et ethnique (Choi et *al.*, 2012 ; Reichart et *al.*, 1988 ; Kraljević Simunković et *al.*, 2011).

Le creusement de la fosse ptérygoïde constitue un critère intéressant pour la comparaison morphologique. Chez la majorité des *Homo sapiens* actuels, y compris les spécimens de Sangsi 19, 20 et 53, cette fosse est modérément creusée ou présente une surface plutôt plane, indiquant une sollicitation musculaire modérée. Cependant, le spécimen de Mandal se distingue par une fosse ptérygoïde présentant une surface modérément proéminente, légèrement en relief. Cette particularité semble singulariser ce spécimen dans l'échantillon coréen. Chez les Néandertaliens, la fosse ptérygoïde est généralement plus profonde, ce qui traduit un développement musculaire important. Toutefois, il convient de noter que cette caractéristique, bien que fréquente chez les Néandertaliens, n'est pas exclusive à ce groupe, puisqu'elle est également observée dans certains autres hominines archaïques ainsi que chez une partie des humains actuels (Violet et *al.*, 2018)

L'orientation du corps mandibulaire constitue un autre trait différenciant les mandibules coréennes. Chez les spécimens de la péninsule, le corps mandibulaire présente une orientation oblique, s'évasant vers l'extérieur, contrairement à la plupart des *Homo sapiens* actuels où l'orientation est plutôt droite. Chez les *Homo sapiens* actuels, y compris les populations est-asiatiques, le corps mandibulaire tend à être plus rectiligne, ce qui correspond à une mandibule

plus gracile. Chez les Néandertaliens, cette orientation est généralement plus droite, bien que la robustesse globale soit beaucoup plus importante.

La position du foramen mentonnier, située sur la face latérale du corps mandibulaire, constitue un caractère descriptif utile dans les analyses comparatives, bien que sa valeur discriminante soit limitée par une variabilité importante au sein des *Homo sapiens*, anciens comme actuels. Chez les spécimens coréens, on observe une certaine diversité : le foramen est situé entre P4 et P3 chez Sangsi 19 et Sungrisan, indiquant une position relativement antérieure. La position du foramen sous la P4, observée notamment chez les spécimens d'Usu-Moshiri et chez la plupart des spécimens des populations actuelles, reflète plutôt la variabilité au sein des *Homo sapiens* actuels. En revanche, Sangsi 20, Sangsi 53 et Mandal présentent une position entre M1 et P4 comme pour TPL2 et UC101, soit une localisation considérée comme plus archaïque et qui est documentée chez environ 61 % des *Homo sapiens* anciens d'Asie de l'Est (Demeter et al., 2015).

La présence du mentum osseum constitue un critère clé dans l'identification des morphologies d'*Homo sapiens*. Chez les fossiles coréens, cette région est souvent mal conservée, rendant les observations partielles. Toutefois, lorsqu'elle est visible, comme chez Sangsi 53, le menton présente une expression modérée : un léger relief central est perceptible, sans projection nette du *tuber symphyseos* ni de tubercules latéraux bien définis. Ce profil correspond à une forme peu marquée du mentum, qui pourrait se rapprocher des rangs 2 et 3.

En comparaison, le spécimen TPL2 illustre un mentum osseum bien développé (rang 4), avec une nette projection du *tuber symphyseos* central et des tubercules latéraux (Demeter et al., 2015), ce qui correspond à la configuration typique des *Homo sapiens* actuels et de la majorité des *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur, notamment en Eurasie. À l'inverse, chez les Néandertaliens, la région symphysaire est typiquement plate ou faiblement incurvée (Dobson et Trinkaus, 2002).

4.2. Analyse métrique

A. Validation du protocole et reproductibilité des mesures

Les erreurs intra- et inter-observateur ont été évaluées grâce à une superposition Procrustes suivie d'une analyse en composantes principales (ACP) réalisées sous le logiciel PAST (Hammer et al., 2001). Les distances entre répétitions sur un même spécimen sont

systématiquement inférieures à celles observées entre différents spécimens, confirmant une faible variation liée à la répétition des mesures par un même opérateur.

Afin de quantifier cette variation intra-observateur, le coefficient de corrélation intraclass (ICC) a été calculé sur un échantillon de 11 spécimens. Les valeurs obtenues, comprises entre 0,9994 et 1, témoignent d'une reproductibilité quasi parfaite des mesures répétées. Ces résultats indiquent que les erreurs de mesure intra-observateur sont quasi négligeables, ce qui confirme la stabilité et la précision du protocole de collecte des données.

La variation inter-observateur, évaluée par les distances de Procrustes entre mesures de deux évaluateurs, reste faible (moyenne $< 0,02$, maximum 0,03), bien inférieure aux distances entre spécimens ($> 0,05$). Aucune distinction statistique n'a été détectée selon l'évaluateur dans l'espace morphométrique, confirmant la robustesse du protocole face à cette source de variation.

Une analyse de variance (ANOVA) complémentaire a mis en évidence que la quasi-totalité de la variance totale est attribuée aux différences biologiques entre individus ($F = 14\,720$, $p < 0,001$), alors que la variance liée aux erreurs de mesure, qu'elles soient intra- ou inter-observateur, reste négligeable ($F = 0,95$ entre observateurs). Ces résultats renforcent la confiance dans la fiabilité des mesures.

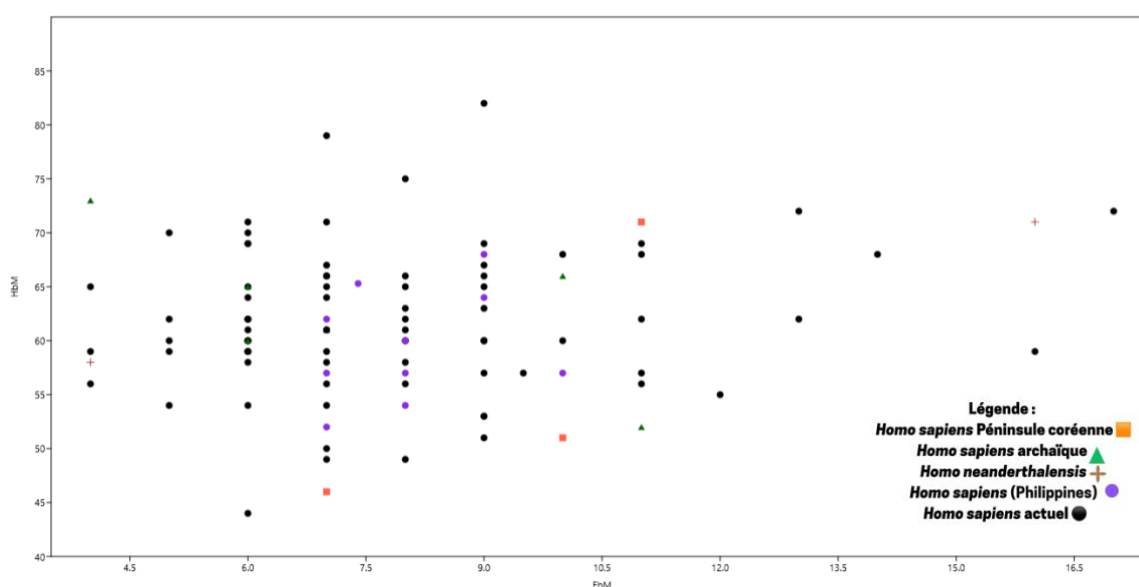
La fiabilité inter-observateur a aussi été quantifiée par le calcul de coefficients de corrélation intraclass, qui ont tous montré des valeurs comprises entre 0,9994 et 1, confirmant la reproductibilité quasi parfaite entre évaluateurs. Enfin, la PCA conduite sur ces données répétées n'a montré aucun regroupement distinct lié à l'identité de l'observateur, corroborant statistiquement l'absence d'effet observateur significatif.

B. Variation métrique et résultat statistique

Pour vérifier la normalité des distributions, plusieurs tests statistiques ont été appliqués, (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera). Ces analyses ont révélé une normalité partielle pour la hauteur de la branche montante, avec des p-values supérieures à 0,05 selon certains tests. En revanche, la largeur et l'épaisseur de la branche montante présentent des distributions significativement non normales, avec des p-values inférieures à 0,05 pour la majorité des tests. En conséquence, afin de garantir la robustesse des analyses, des tests non paramétriques ont été privilégiés pour comparer ces trois mesures.

Un test global de Kruskal-Wallis a montré des différences hautement significatives entre les médianes des trois variables métriques ($H = 271,1$; $p < 0,001$). Des comparaisons post-hoc par paires ont ensuite confirmé que la largeur, la hauteur et l'épaisseur diffèrent toutes significativement les unes des autres ($p < 0,001$ dans chaque cas), ce qui souligne que chacune de ces mesures reflète un aspect distinct de la morphologie de la branche montante.

La < Figure 6 > est un graphique bivarié généré à partir des deux variables : hauteur (HbM) et épaisseur (EbM) de la branche montante des groupes humains fossiles et actuels. Les spécimens coréens présentent une variation, avec des hauteurs allant de 45 mm (Sangsi 53) à 70 mm (Sangsi 19). La médiane de la hauteur de la branche montante du groupe coréen se situe au même niveau que celle des *Homo sapiens* archaïques dans le diagramme en boîte (Fig.7).



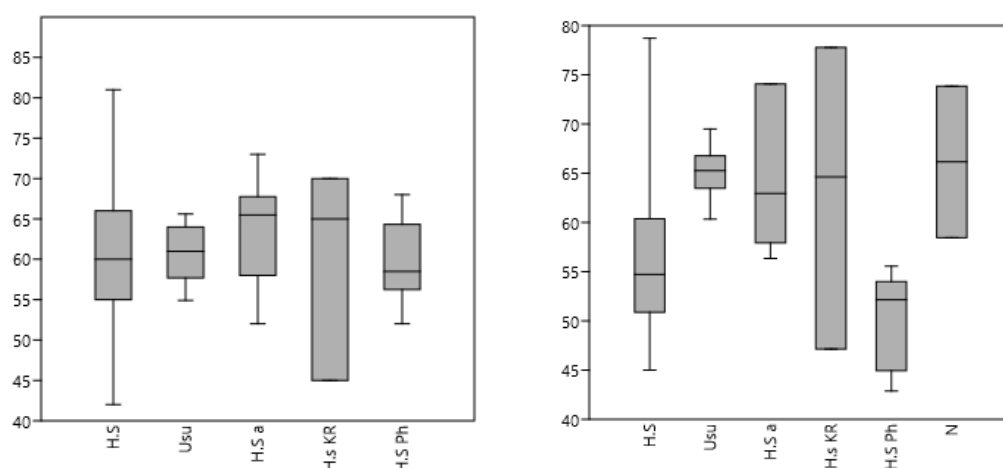
< Figure 6 > Distribution de la hauteur et de l'épaisseur de la branche montante chez différents groupes humains (*Homo sapiens* de la péninsule coréenne *Homo sapiens* archaïque, *Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens* (Philippines), *Homo sapiens* actuel)

Parmi les spécimens coréens, Mandal se distingue, car il présente une hauteur et épaisseur élevées de fossiles archaïques ou néandertaliens tels que Skhul V ou Amud 1 au niveau des hauteurs et de Wadjak et Cape Flats au niveau de l'épaisseur de la branche montante. Tandis que Sangsi 19 se rapproche de Cape Flats pour la hauteur de la branche montante (51 mm), même si cela reste dans des valeurs plutôt basses et qui le font rentrer dans la variation des *Homo sapiens* actuels. En revanche, Sangsi 53 se démarque par une hauteur plus réduite (45mm) se situant nettement en dehors de la distribution du reste de l'échantillon coréen, et plus proche des valeurs inférieures observées chez certains *Homo sapiens* actuels, suggérant

un profil plus gracile. Il a également une épaisseur (6mm) qui le rapproche des *Homo sapiens* actuels comprenant les *Homo sapiens* des Philippones.

À titre de comparaison, deux spécimens coréens récents illustrent également cette variabilité : Gwangju (광주) 1381 présente une branche montante parmi les valeurs les plus élevées observées, avec une hauteur de 68 mm et une épaisseur de 14 mm. En revanche, le spécimen Gajok (고적) 28091 se situe dans les valeurs intermédiaires.

Les autres groupes de comparaison présentent des tendances plus homogènes (Fig.7). Les *Homo sapiens* actuels montrent une concentration autour de valeurs moyennes, tandis que les populations philippines et les spécimens d'Usu-Moshiri présentent des hauteurs légèrement inférieures, mais avec une variation réduite. Les *Homo sapiens* archaïques et les Néandertaliens, quant à eux, occupent le haut de la variation, avec des valeurs élevées témoignant d'une branche montante plus développée en hauteur.



< Figure 7 > Distribution de la hauteur de la branche montante mandibulaire au sein de différents groupes humains et < Figure 8 > Distribution de l'indice de la branche montante (abréviations : *Homo sapiens* actuels (H.S), des populations actuelles des Philippones (H.S Phi), des *Homo sapiens* archaïques (H.S a), des individus issus du site d'Usu-Moshiri (Usu), des Néandertaliens (N) et les spécimens coréens du Sud du Pléistocène supérieur (H.S-KR) et du Nord (H.S NKR))

La < Figure 8 > présente un diagramme en boîte comparant l'indice de la branche montante entre les groupes analysés. Les spécimens coréens se distinguent avec des valeurs d'indice de la branche montante allant de 47,14 pour Sangsi 19 à 77,78 pour Sangsi 53. Cette amplitude importante reflète des différences notables de proportions au sein du groupe. La médiane du groupe coréen se situe à un niveau comparable à celle des *Homo sapiens* archaïques. Mandal

s'inscrit dans une gamme de variation proche de celle de certains néandertaliens, tels qu'Amud 1 ou Skhul V, suggérant des convergences dans les proportions mandibulaires.

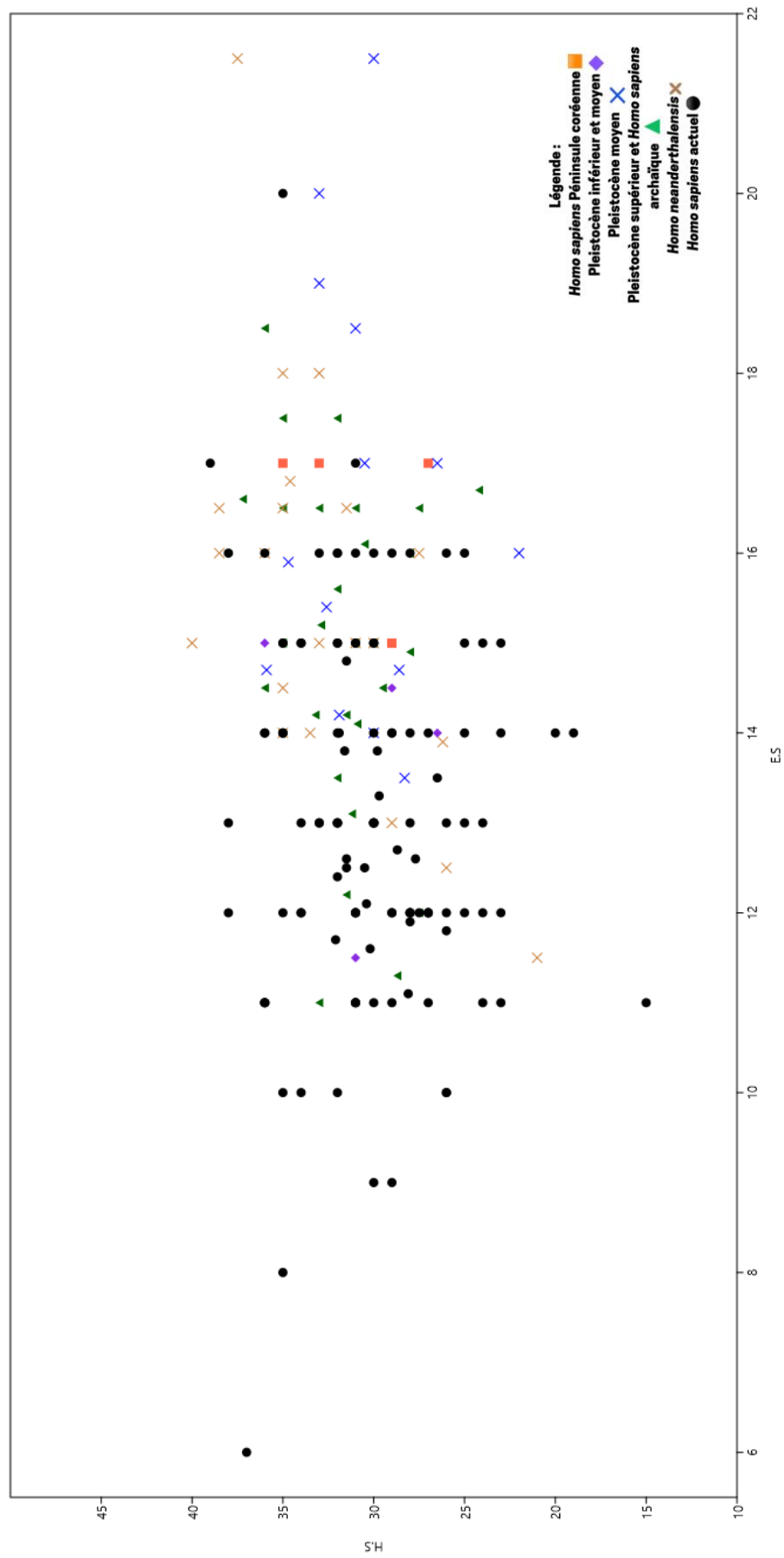
À l'opposé, les *Homo sapiens* actuels des Philippines présentent des indices plus faibles et peu dispersés, témoignant d'une homogénéité et d'une morphologie mandibulaire plus gracile. Les individus d'Usu-Moshiri ont des valeurs plus élevées et resserrées, traduisant une robustesse proportionnelle plus marquée. Les *Homo sapiens* archaïques, comme dans l'analyse de la hauteur de la branche montante, affichent des indices globalement plus élevés. Les Néandertaliens, quant à eux, se situent dans la partie haute de la variation.

La < Figure 9 > met en évidence la position des spécimens coréens dans la distribution métrique des mandibules fossiles et actuelles, en fonction de la hauteur et de l'épaisseur de la symphyse mandibulaire. Les *Homo sapiens* actuels forment un groupe relativement homogène, centré autour de valeurs modérées d'épaisseur (9 et 16 mm) et de hauteur (21–32 mm), bien que certains individus présentent une symphyse plus fine ou plus basse. À l'inverse, les Néandertaliens, tels que La Quina 5, se distinguent par une symphyse à la fois épaisse (> 18 mm) et haute (> 32 mm), témoignant d'une robustesse marquée.

Les fossiles du Pléistocène moyen permettent de documenter la variabilité des proportions symphysaires sur un intervalle chronologique élargi. Ces spécimens occupent des positions intermédiaires dans la distribution : ils associent souvent une épaisseur marquée à une hauteur modérée, se distinguant ainsi tant des Néandertaliens que des *Homo sapiens* actuels. Les *Homo sapiens* archaïques présentent une morphologie symphysaire généralement plus robuste que les modernes, mais moins que les Néandertaliens.

Les spécimens coréens se démarquent, comme Mandal, Sungrisan et Sangsi 19, qui ont une épaisseur symphysaire importante (17 mm), proche de celle observée chez des individus du Pléistocène moyen comme Penghu 1 et Xujiayao 14, ou chez des représentants plus tardifs comme UC 101, Klasies River Mouth 14695 et Cro-Magnon 1. Cette robustesse les rapproche aussi de certains Néandertaliens comme La Quina 9 et Vindija 231.

Le spécimen Sangsi 19, en ce qui concerne la hauteur de la symphyse, se rapproche de deux individus asiatiques du Pléistocène moyen et supérieur, ZKD PA86 et Tianyuan, tout en s'inscrivant également dans la variation observée chez les *Homo sapiens* actuels. La position de Sangsi 19 évoque également certaines caractéristiques intermédiaires partagées avec les spécimens de Zhirendong et Xujiayao 14, qui combinent des traits archaïques et actuels.

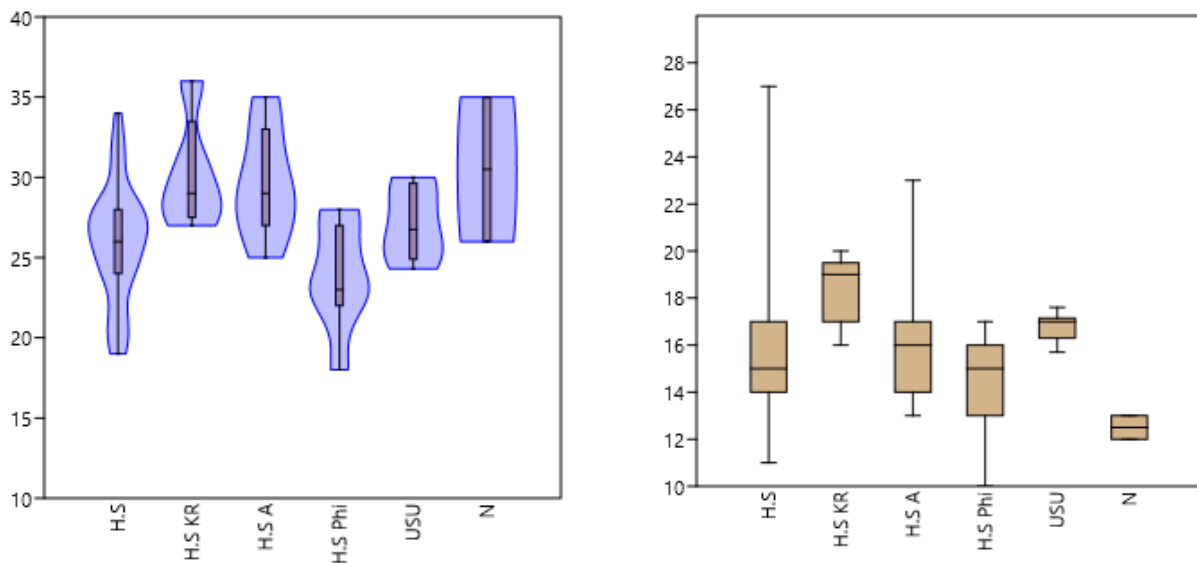


< Figure 9 > Projection bivariée de la hauteur (H.S) et de l'épaisseur (E.S) de la symphyse mandibulaire chez différents groupes humains fossiles et actuels

Pour ce qui est de la hauteur de la symphyse, Sangsi 53 reste plus proche de la distribution des *Homo sapiens* actuels, mais avec une symphyse légèrement plus haute et épaisse, comparable à celle d'individus comme Skhul IV et qui rentre également dans la moyenne observée chez les *Homo sapiens* archaïques (15,6mm). Mandal se positionne dans les valeurs les plus élevées (35 mm), le rapprochant ainsi de spécimens robustes tels que La Ferrassie 1 et certains Néandertaliens comme Krapina 3 et Ehringsdorf. Le spécimen Sungrisan se situe dans une position plus modérée mais qui reste dans les valeurs hautes, avec une hauteur symphysaire de 33mm. Il se rapproche de spécimens comme Omo 2 ou Skhul V et il reste dans la moyenne des *Homo sapiens* archaïques (32mm) et se place les valeurs supérieures de la variation des *Homo sapiens* actuels.

Afin d'affiner l'analyse, un indice de robustesse symphysaire (R.S) a été calculé. Les valeurs de l'indice varient considérablement entre les spécimens, reflétant une diversité importante. Parmi les spécimens coréens, une variation marquée est également observable. Sangsi 19 présente un indice élevé (62,96), soulignant une symphyse particulièrement robuste, à la fois haute et épaisse, ce qui le rapproche des morphologies archaïques. À l'inverse, Sangsi 53 affiche un indice plus modéré (51,72), illustrant une robustesse moins marquée mais toujours au-dessus de la moyenne des *Homo sapiens* actuels. Mandal, quant à lui, présente un indice modéré de 48,57, mais sa hauteur élevée renforce l'idée d'une robustesse mandibulaire. Enfin, Sungrisan, avec un indice de 51,52, occupe une position médiane, proche des spécimens tels que Cro-Magnon 1 ou Spy I.

La < Figure 10 > présente un diagramme en violon, qui permet de visualiser simultanément la distribution statistique et la densité des données au sein de chaque groupe. On observe une forte dispersion des valeurs chez certains groupes, notamment les spécimens coréens et les *Homo sapiens* archaïques, témoignant d'une grande variabilité des hauteurs mesurées au niveau des M2 et M3. Le groupe coréen illustre une forte variation, avec des individus affichant des hauteurs proches de certains *Homo sapiens* archaïques, tandis que d'autres se rapprochent de la gamme plus réduite observée chez les *Homo sapiens* actuels. À l'inverse, les groupes d'Usu-Moshiri et des Philippines montrent des distributions plus compactes, centrées autour de médianes plus faibles.



< Figure 10 > Diagramme en violon représentant la distribution des hauteurs M2-M3 et < Figure 11 > Diagramme en boîte comparant l'épaisseur M2-M3 entre les différents groupes étudiés

Les analyses statistiques confirment les différences observées entre groupes. L'analyse de variance (ANOVA) révèle une variation inter-groupes significative ($F(5,102) = 3.992$, $p = 0.0024$), validée par une homogénéité acceptable des variances (test de Levene, $p = 0.81$). Toutefois, le test de Welch, moins sensible à cette homogénéité, n'est pas significatif ($p = 0.10$), ce qui indique une certaine sensibilité des résultats aux conditions statistiques. Pour dépasser cette incertitude, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé, confirmant la différence significative des médianes entre groupes ($H_c = 15.84$, $p = 0.0073$). Ce dernier résultat renforce la validité d'une différenciation morphologique réelle, indépendante des hypothèses de l'ANOVA.

Le diagramme en boîte (Fig.11) compare l'épaisseur moyenne du corps mandibulaire au niveau des M2-M3 entre les différents groupes étudiés. On observe que les individus de la péninsule coréenne présentent l'épaisseur moyenne la plus élevée, avec une médiane proche de 19 mm et une faible dispersion des valeurs, indiquant une robustesse osseuse plus marquée et une homogénéité morphologique notable au sein de ce groupe.

Le groupe des actuels affiche une plus grande variation, avec des valeurs d'épaisseur allant de 11 mm à près de 27 mm. Cette amplitude témoigne d'une diversité morphologique interne importante. La médiane, située autour de 15 mm, se place à un niveau intermédiaire, confirmant que ce groupe est caractérisé par des individus présentant des morphologies diverses. Le groupe d'Usu-Moshiri présente également une médiane élevée avec un intervalle interquartile plus

resserré et qui le rapproche des *Homo sapiens* actuels. Enfin, le groupe des néandertaliens se démarque par la valeur d'épaisseur moyenne la plus faible, avec une médiane proche de 12 mm et une distribution très compacte.

La < Figure 12> présente une analyse en composante principale effectuée sur neuf variables métriques mandibulaires. Le spécimen Mandal se distingue par sa projection à l'extrémité inférieure de l'axe 2 dans l'espace factoriel, ce qui reflète des valeurs très élevées en longueur mandibulaire (M68) et en largeur bigoniaque (M69). Sa position extrême reflète une morphologie mandibulaire robuste, comparable à celle observée chez certains *Homo sapiens* archaïques comme Kow Swamp et UC101. En effet, les mesures quantitatives confirment cette interprétation : Mandal présente une longueur mandibulaire élevée (109 mm), une largeur bigoniaque importante (113 mm), ainsi qu'une hauteur de la branche montante de 65 mm. Par ailleurs, son épaisseur symphysaire atteint 17 mm. Ces dimensions sont parmi les plus importantes de l'échantillon toutes périodes confondues, soulignant que Mandal possède une morphologie mandibulaire robuste et volumineuse. Cette robustesse le distingue nettement au sein des spécimens coréens, en le rapprochant des formes archaïques plutôt que des *Homo sapiens* actuels, qui ont en général des dimensions plus modérées.

En comparaison, les spécimens Sangsi 19 et Sangsi 53 se placent tous deux au sein de la variation observée chez les *Homo sapiens* actuels, bien qu'ils présentent des différences notables. Sangsi 19 se situe sur la partie positive de l'axe 1, ce qui reflète en grande partie sa hauteur de branche montante élevée (70 mm), l'une des plus importantes de l'échantillon étudié. Cette hauteur marquée, combinée à une épaisseur de branche montante de 33 mm et une épaisseur symphysaire de 15 mm, confère à Sangsi 19 une morphologie mandibulaire intermédiaire. Cette configuration illustre une morphologie qui ne s'aligne ni strictement sur les profils robustes archaïques, ni totalement sur les profils actuels. À l'inverse, Sangsi 53 se trouve dans le quadrant inférieur gauche de l'axe 1, caractérisé par des valeurs plus basses notamment sur la branche montante de la mandibule. Elle est de 45 mm, bien en dessous de la moyenne d'environ 60,5 mm observée chez les *Homo sapiens* actuels notamment d'Asie.

L'analyse conjointe de la longueur mandibulaire et de la largeur bigoniaque montre que Mandal se distingue par des dimensions particulièrement élevées, témoignant d'une mandibule robuste et volumineuse, tandis que Sangsi 53 se place plus au centre de la distribution, avec des mesures modérées proches de celles des *Homo sapiens* actuels. Ces différences sont renforcées par l'analyse de l'indice de proportion mandibulaire (longueur / largeur bigoniaque) : Mandal

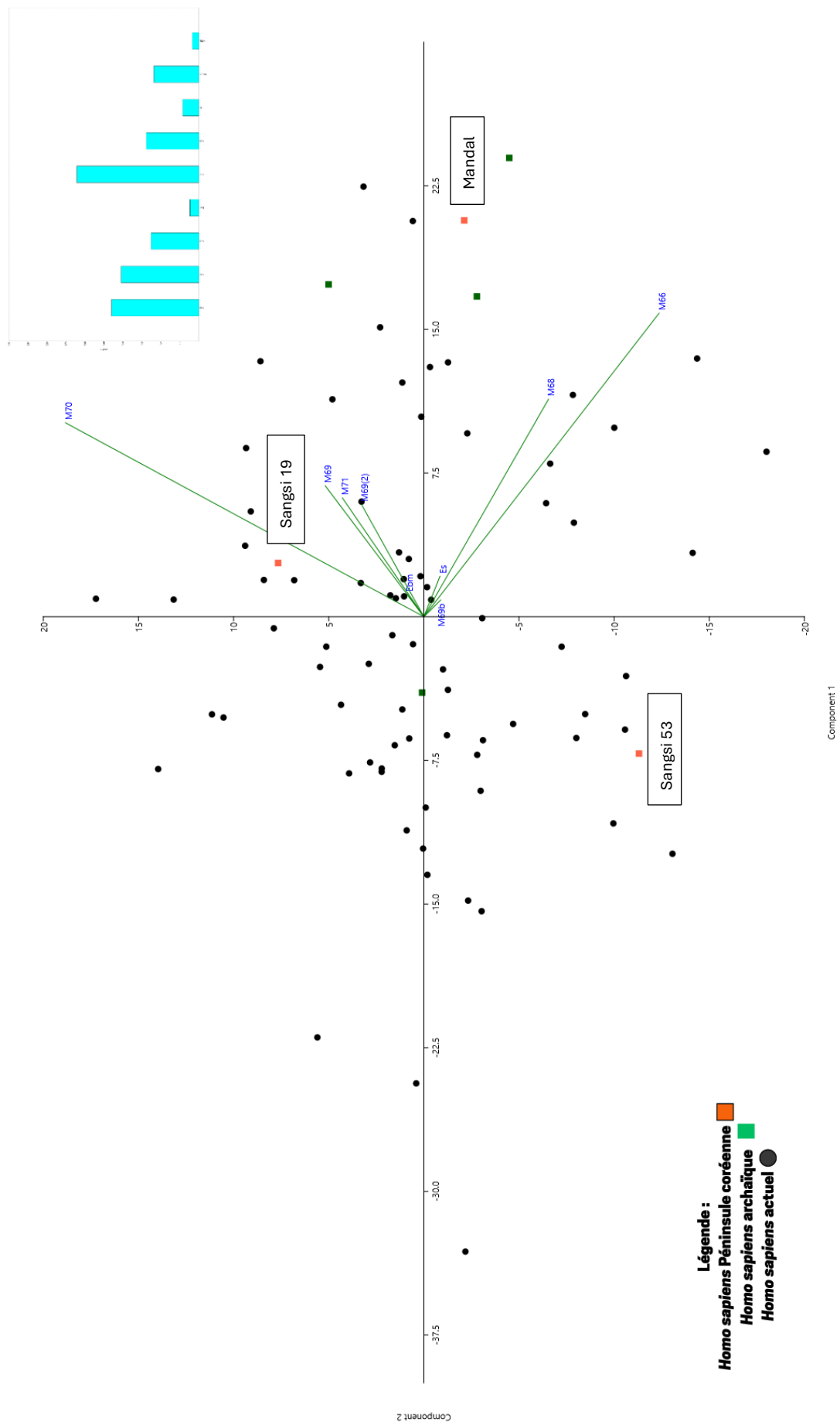
présente un indice faible (96,46), indiquant une mandibule large et compacte, proche de celle du spécimen archaïque Kow Swamp, tandis que Sangsi 53, avec un indice plus élevé (102,04), se rapproche des valeurs actuelles (moyenne de 110,01) tout en montrant une certaine affinité avec UC101. Tous deux s'éloignent toutefois de la moyenne des *Homo sapiens* archaïques (116,22), illustrant de la variation humaine. Enfin, les spécimens d'Usu Moshiri, connus pour la petite taille de leurs mandibules, se positionnent dans les valeurs les plus basses, confirmant une certaine gracilité (cf. Fig.23 en annexes).

Les analyses métriques conduites sur les mandibules révèlent une variation morphologique marquée, aussi bien entre les groupes humains fossiles et actuels qu'au sein des populations coréennes du Pléistocène supérieur. Cette diversité se manifeste par des différences significatives dans la hauteur et l'épaisseur de la symphyse mandibulaire, qui traduisent des profils de robustesse contrastés, depuis des morphologies graciles typiques des *Homo sapiens* actuels jusqu'à des formes particulièrement robustes, comparables à celles des Néandertaliens ou des *Homo sapiens* archaïques. La variation des indices de robustesse, ainsi que les positions distinctes des spécimens coréens dans les analyses bivariées et en composantes principales, soulignent l'hétérogénéité interne à ce groupe, avec des individus affichant tantôt des caractéristiques robustes (comme Mandal), tantôt des morphologies plus proches des populations actuelles (comme Sangsi 53).

Les tests non paramétriques confirment des différences significatives entre groupes pour la hauteur et l'épaisseur mandibulaires. Par ailleurs, l'ANOVA et le test de Kruskal-Wallis confirment l'existence de variations morphométriques inter-groupes dépassant la simple variation intra-populationnelle.

Cette différenciation est particulièrement nette chez les spécimens coréens, qui montrent une amplitude de variation importante, suggérant des trajectoires évolutives et des adaptations diversifiées. Par ailleurs, la distribution des mesures métriques et des indices de robustesse met en lumière des morphotypes intermédiaires, reflétant probablement des influences multiples, telles que des facteurs génétiques, environnementaux ou démographiques.

< Figure 12 > Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur neuf variables métriques mandibulaires : longueur de la mandibule (M68), hauteur de la branche montante (M70), largeur de la branche montante (M71), épaisseur de la branche montante (Ebm), largeur bi-goniaque (M66), hauteur de la symphyse (M69), épaisseur de la symphyse (Es), hauteur de la mandibule au niveau des M2 (M69(2)) et épaisseur de la mandibule au niveau de la M2 (M69b). La projection des variables est représentée dans le cercle des corrélations sur le plan formé par les deux premiers axes factoriels, qui expliquent respectivement 45,4 % et 18,6 % de la variance totale.



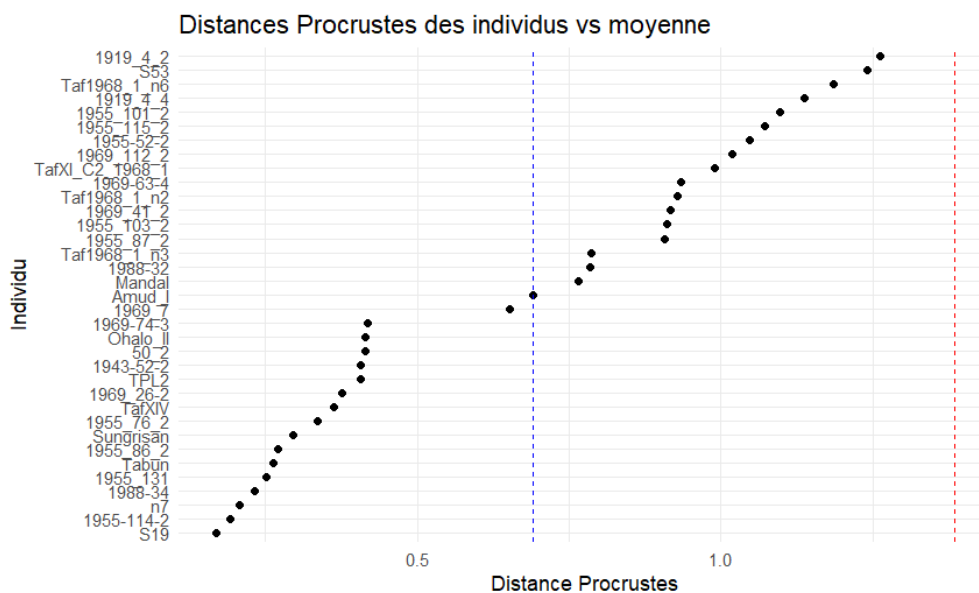
4.3. Analyse morphométrique 3D

A. Fiabilité des mesures morphométriques

La reproductibilité des mesures a été évaluée en reprenant la reconstruction des modèles 3D ainsi que la pose de l'ensemble des landmarks sur un échantillon de 10 individus, réalisés par le même opérateur. Les coordonnées issues des deux sessions ont été soumises à une superposition Procrustes générale, suivie d'une analyse en composantes principales (ACP).

Une exploration des distances Procrustes a été réalisée afin d'identifier d'éventuels spécimens s'écarterait de manière notable de la forme moyenne. Ce type d'écart peut refléter soit une variation biologique marquée, soit des biais liés à des artefacts de reconstruction 3D ou à des imprécisions dans le placement des landmarks. La <Figure 13> présente les distances Procrustes des individus par rapport à la moyenne, triées par ordre croissant. Tous les individus et leur numéro sont répertoriés en annexes (Tabl.14).

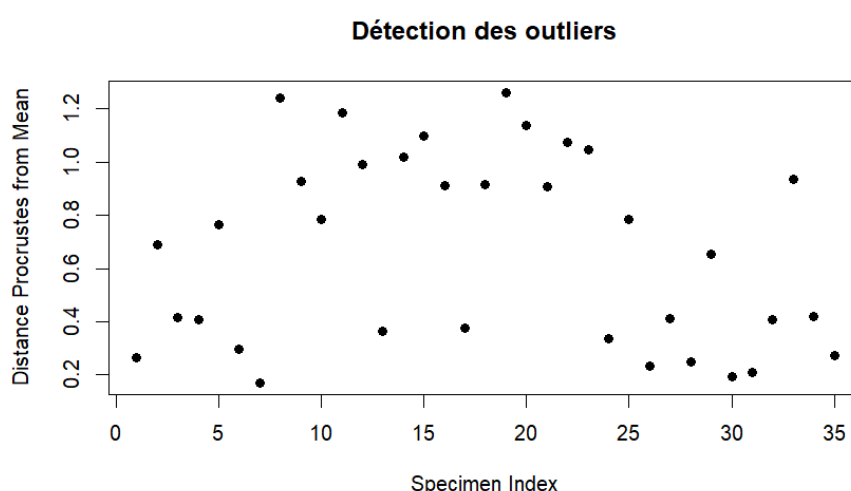
On observe une distribution continue des distances, avec une majorité des individus situés en dessous de la médiane (environ 0,55). Quelques individus dépassent un seuil fixé à 1,2, qui marque une distance significativement élevée par rapport à la moyenne. Cette configuration suggère une variabilité morphologique notable au sein de l'échantillon, sans rupture nette entre groupes distincts.



< Figure 13 > Analyse des distances Procrustes avec moyenne et seuil d'outliers

En complément, la < Figure 14 > illustre la distribution des distances en fonction de l'indice des spécimens, permettant une première visualisation des écarts individuels. Ces deux représentations permettent de constater qu'aucun écart ne peut être considéré comme un outlier.

Cette représentation facilite l'identification visuelle de spécimens présentant une distance élevée, tout en tenant compte de leur position dans l'échantillon. On remarque une certaine dispersion des valeurs, avec quelques individus dépassant 1,2 de distance, mais sans rupture nette dans la distribution. Cela suggère une variabilité continue au sein de l'échantillon, sans point de bascule évident justifiant l'exclusion d'un ou plusieurs spécimens sur cette base seule.



< Figure 14 > Graphique de détection des outliers par distance Procrustes

L'ACP ne révèle aucun regroupement particulier lié aux sessions de mesure, les répétitions d'un même individu se positionnant systématiquement plus proches les uns des autres que les individus différents. Cette distribution confirme visuellement une variation intra-observateur faible, et une consistance dans le placement des points de repère.

La fiabilité des mesures a été quantifiée à l'aide d'un coefficient de corrélation intraclasse (ICC), qui reflète la cohérence entre les deux séries de mesures. La valeur obtenue de 0,86 (intervalle de confiance 95 % : [0,78 ; 0,92]) indique une très bonne reproductibilité intra-observateur. Lorsqu'on considère la moyenne des mesures répétées, la cohérence atteint près de 0,99, traduisant une quasi-perfection dans la répétition des prises de données.

Une analyse de variance (ANOVA) complémentaire montre que la majeure partie de la variance totale est due aux différences biologiques entre individus ($F = 144,2$), tandis que la

B. Analyse morphométrique globale

Projection ACP (coordonnées Procrustes) PC1 et PC2

espece

- H-s-A
- H_n
- Homo_sapiens

periode

- Actuel
- Neol
- Paleo_sup

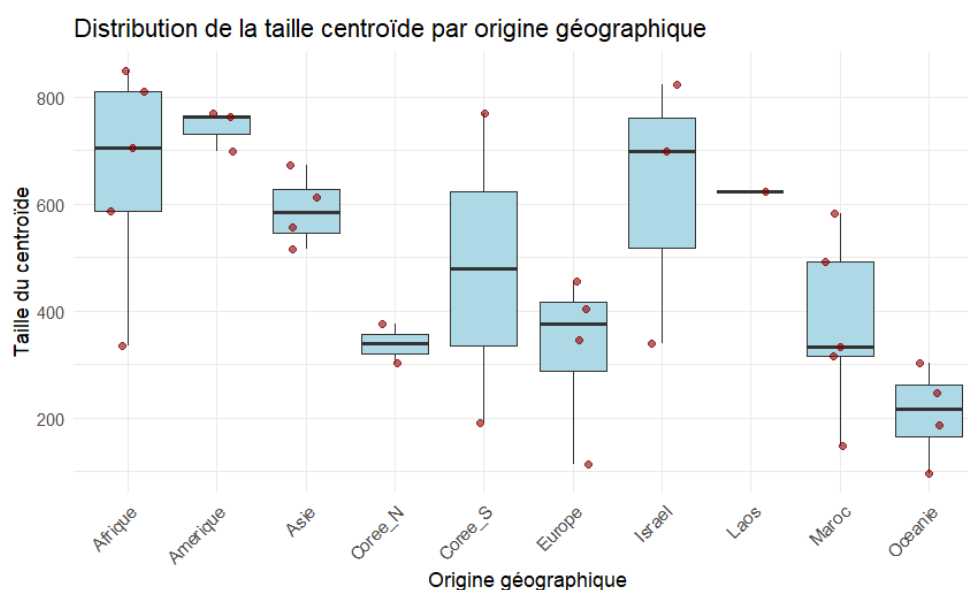
Nous constatons donc un cluster au centre du graphique comprenant Mandal et Amud I et des individus du Néolithique et des *Homo sapiens* actuels. Tandis que Sangsi 53 se retrouve dans les valeurs positives proche d'un *Homo sapiens* actuel en provenance d'Europe. Sungrisan se retrouve en haut du graphique et proche de Tabun et de plusieurs *Homo sapiens* actuels.

59

conjointe, prenant en compte simultanément les deux axes, confirme cette absence de structuration significative (Pillai = 0,038 ; $p = 0,902$). Ces résultats suggèrent que la variation morphologique capturée par les deux premières composantes principales est partagée entre les différents groupes, sans différenciation marquée selon les espèces ni les périodes.

Nous avons alors voulu vérifier l'effet de l'origine géographique, de la période et de l'espèce sur la variation de la taille centroïde. La < Figure 16 > présente la distribution des tailles centroïdes selon l'origine géographique. Les médianes varient notablement entre les groupes : les plus élevées sont observées en Afrique, en Amérique et en Israël, tandis que les valeurs les plus faibles apparaissent pour l'Océanie et la partie nord de la péninsule coréenne.

La position des spécimens coréens est particulièrement notable. En Corée du Nord, les tailles centroïdes figurent parmi les plus basses observées, avec une dispersion relativement faible, traduisant une certaine homogénéité morphologique. Ce profil contraste fortement avec celui de la Corée du Sud, où la distribution est beaucoup plus étendue, indiquant une hétérogénéité intra-groupe plus marquée. Ainsi, bien que géographiquement proches, les deux groupes coréens révèlent des dynamiques morphologiques distinctes.



< Figure 16 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de l'origine géographique

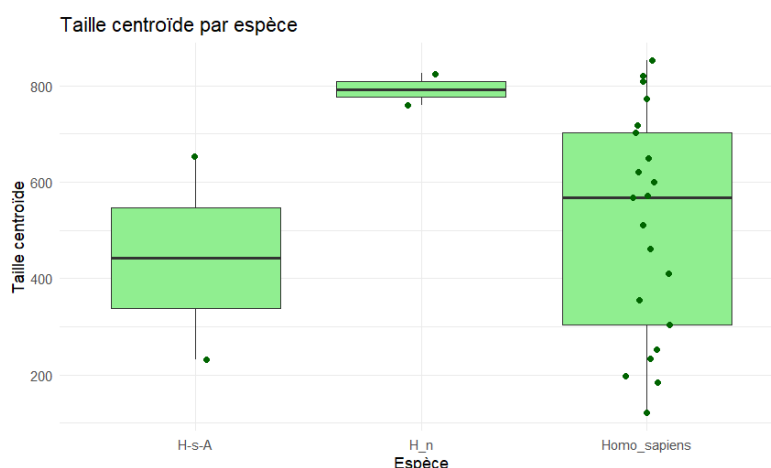
Mandal et Sungrisan expriment des tailles centroïdes relativement similaires et se situent dans la variation de leur groupe. En revanche, les individus Sangsi 53 et Sangsi 19, se distinguent par des tailles centroïdes nettement plus élevées. Celles-ci s'écartent du nuage principal des autres spécimens coréens et se rapprochent des valeurs observées dans les groupes en

provenance d'Afrique ou des Amériques. Cette dispersion interne renforce l'idée d'une hétérogénéité morphologique marquée au sein du groupe sud-coréen, qui contraste avec l'homogénéité apparente du groupe nord-coréen.

Afin de tester la significativité de ces différences entre origines géographiques, nous avons effectué un test de Kruskal-Wallis. Les résultats indiquent une différence globale significative entre les groupes ($\chi^2 = 19.176$, $df = 9$, $p = 0.0237$), suggérant que l'origine géographique est associée à des variations de taille centroïde. Toutefois, l'analyse post-hoc de Dunn avec correction de Bonferroni ne met en évidence aucune différence significative entre les paires de groupes ($p > 0.05$ dans tous les cas après ajustement), bien que certaines comparaisons présentent des valeurs p non ajustées inférieures à 0.05 (par exemple : Amérique – Corée du Nord : $p = 0.047$; Afrique – Europe : $p = 0.043$; Amérique – Europe : $p = 0.025$), suggérant des contrastes potentiellement marqués avant correction. Un test ANOVA mené en complément confirme une variation significative entre les groupes ($F(9,23) = 3.603$, $p = 0.00625$).

Ces résultats indiquent une hétérogénéité morphologique significative à l'échelle globale entre origines géographiques, confirmée par deux approches statistiques (Kruskal-Wallis et ANOVA). Toutefois, aucune paire de groupes ne se distingue clairement après correction pour comparaisons multiples, ce qui est cohérent avec la taille d'échantillon restreinte et les amplitudes intra-groupes observées dans la figure.

Nous avons alors procédé à une analyse comparative de la taille centroïde en fonction de deux facteurs clés : l'espèce (Fig.17) et la période (Fig.18) puis avons combiné les deux en analysant conjointement l'effet de la période et de l'espèce sur la taille centroïde (cf. Fig.26). La < Figure 17 > révèle que les *Homo sapiens* archaïques présentent des tailles centroïdes dans la moyenne. TPL2, par exemple, affiche une valeur de 653, tandis que Ohalo II est nettement plus réduit avec une taille de 232. Bien que ce contraste suggère une certaine variabilité au sein de ces formes anciennes, l'interprétation reste limitée par le faible nombre d'individus disponibles. *Homo neanderthalensis* présente une médiane élevée (~820) mais une faible dispersion, suggérant une relative homogénéité morphologique intra-groupe. Cela pourrait refléter une stabilité morphologique dans l'échantillon disponible, bien que le nombre réduit d'individus appelle à la prudence dans l'interprétation. Les *Homo sapiens* actuels présentent quant à eux la plus grande variabilité, avec des tailles centroïdes allant de 100 à 850 et une médiane plus basse (~450).



< Figure 17 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de l'espèce

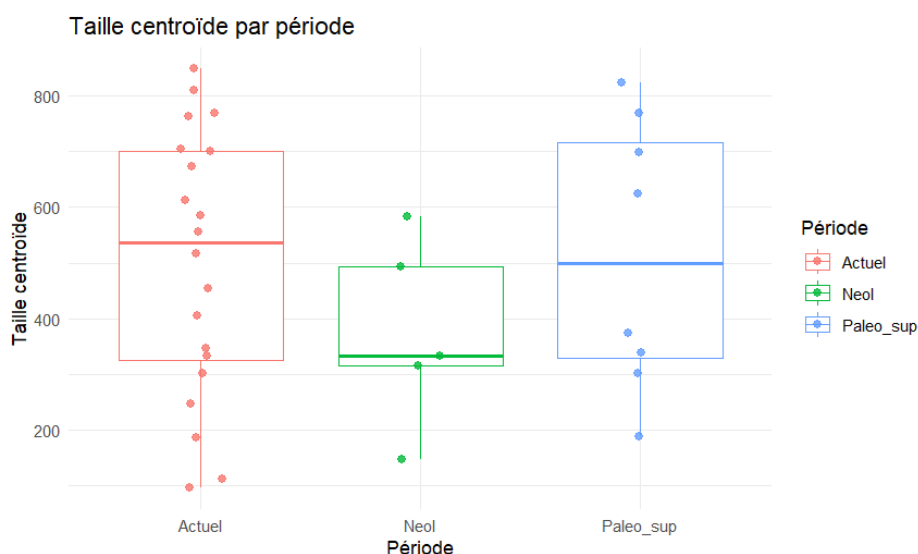
Sangsi 53, avec une taille centroïde de 121, se situe à l'extrémité inférieure de la distribution des *Homo sapiens* actuels, tandis que Sungrisan, à l'opposé, atteint une valeur extrême de 855, la plus élevée de tout l'échantillon. Cette position place Sungrisan parmi les spécimens ayant la plus grande taille centroïde, proche voire au-delà des valeurs observées chez les Néandertaliens. Ces deux spécimens encadrent donc la variation morphologique connue chez les humains actuels. Mandal (197) et Sangsi 19 (234) présentent également de faibles tailles centroïdes, similaires à celle d'Ohalo II, et s'éloignent des valeurs moyennes du groupe actuel.

Ainsi, bien que tous les spécimens coréens s'écartent de la distribution centrale des *Homo sapiens* actuels, ils le font selon des directions différentes : Sungrisan se distingue par une taille centroïde particulièrement élevée, excédant la plupart des valeurs observées, tandis que Sangsi 53, Mandal et Sangsi 19 présentent des tailles beaucoup plus réduites.

En fonction des périodes (Fig.18), la taille centroïde varie également. La période actuelle présente une large dispersion et une médiane relativement élevée (~530). Le Néolithique se distingue par une taille réduite et plus homogène (~350), tandis que le Paléolithique supérieur montre une dispersion importante avec une médiane intermédiaire (~500).

En se concentrant sur les spécimens coréens du Paléolithique supérieur, une polarisation marquée apparaît. Sangsi 19 présente une taille centroïde élevée, supérieure à la médiane du groupe du Paléolithique supérieur et le rapprochant de Tabun qui sort également de la variation du groupe et d'Ohalo II. Tandis que Sungrisan reste dans la variation du groupe et que Mandal sort de la variation mais reste proche de Amud I. Sangsi 53 affiche la taille centroïde la plus

faible, située à l'extrémité inférieure de la distribution. Cette répartition illustre la forte variabilité morphologique au sein de cette période.



< Figure 18 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de la période

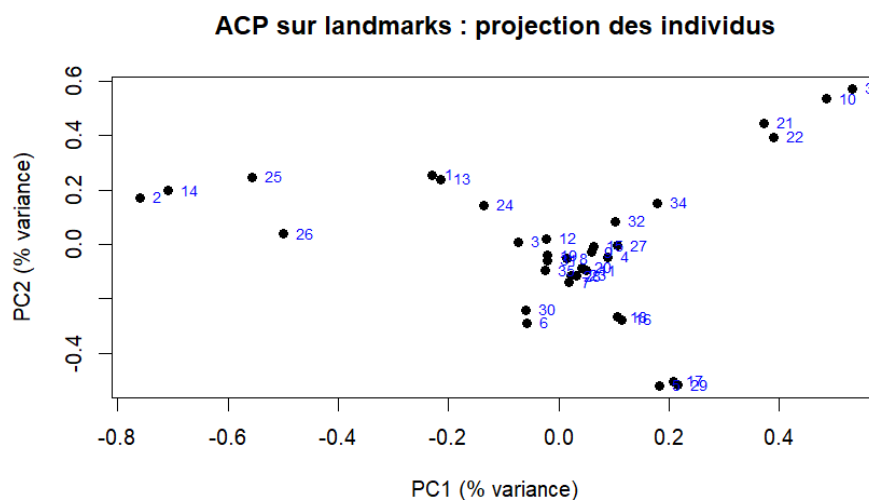
La figure combinée (cf. Fig.26) illustre l'évolution de la taille centroïde en fonction des deux facteurs. Pour *Homo sapiens*, on observe une diminution de la taille au Néolithique suivie d'une légère augmentation à l'époque actuelle. *Homo neanderthalensis* est uniquement présent au Paléolithique supérieur avec une taille centroïde élevée (~580), tandis qu'*Homo sapiens* archaïque affiche une taille moyenne élevée (~670).

C. Variations morphologiques mandibulaires

Pour mieux comprendre la variation morphologique mandibulaire observée dans notre échantillon, nous avons d'abord réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les landmarks anatomiques fixes, puis sur les semi-landmarks. Enfin, les formes extrêmes du premier axe principal (PC1) ont été reconstruites pour illustrer les différences morphologiques majeures.

L'ACP réalisée sur les landmarks anatomiques fixes met en évidence que les deux premiers axes principaux (PC1 et PC2) expliquent environ 16 % de la variance morphologique totale dans l'échantillon. Cette faible proportion indique que cette approche basée uniquement sur des points fixes ne capture qu'une part limitée de la variation de forme mandibulaire.

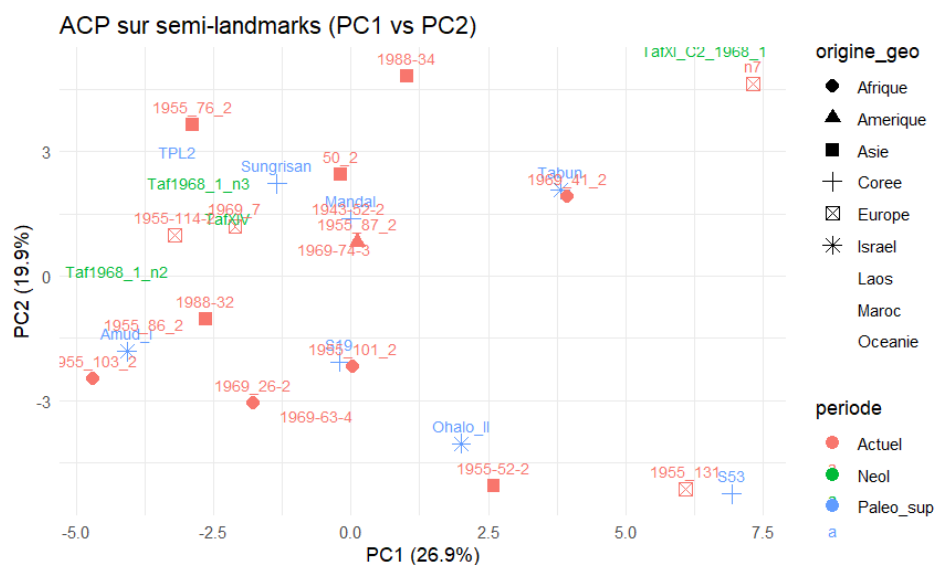
La projection des 35 individus sur ce plan factoriel (Fig.19) révèle une distribution diffuse, sans formation claire de groupes distincts. Les individus coréens (5 à 8) restent proches du centre, tandis que certains fossiles comme Tabun (2) se situent dans la partie négative de PC1. Les *Homo sapiens* actuels d'Amérique et d'Océanie occupent plutôt les zones positives des deux axes. Cette répartition illustre que la variation morphologique est largement partagée entre les spécimens, sans structuration nette en fonction des catégories comme l'espèce ou la période.



< Figure 19 > Analyse en Composantes Principales sur les landmarks (ACP (PC1 8,62 %) et (PC2 7,50 %) de la variance totale

L'ACP réalisée sur les semi-landmarks (Fig.20), qui capturent des variations le long de la base du corps mandibulaire, révèle que les deux premiers axes principaux expliquent environ 47 % de la variance, indiquant qu'ils saisissent une part importante de la variation observée. Cette augmentation significative par rapport aux landmarks montre que l'utilisation des semi-landmarks permet de mieux caractériser les changements de conformation mandibulaire.

Sangsi 53 se situe dans les valeurs positives proche des extrêmes sur l'axe PC1 tandis que Mandal et Sungrisan se retrouvent dans les valeurs supérieures sur l'axe PC2 mais inférieures sur l'axe PC1, ce qui les place à proximité de TPL2. Quant à Sangsi 19, il est assez central au niveau de PC1 et dans les valeurs négatives sur PC2. Les spécimens des groupes actuels présentent une plus grande dispersion, notamment aux extrémités de PC1, ce qui pourrait témoigner d'une variabilité morphologique plus marquée. Les individus du Néolithique et du Paléolithique supérieur apparaissent davantage regroupés au centre de la distribution. La taille de l'échantillon pour ces deux périodes peut également avoir un impact sur cette distribution.



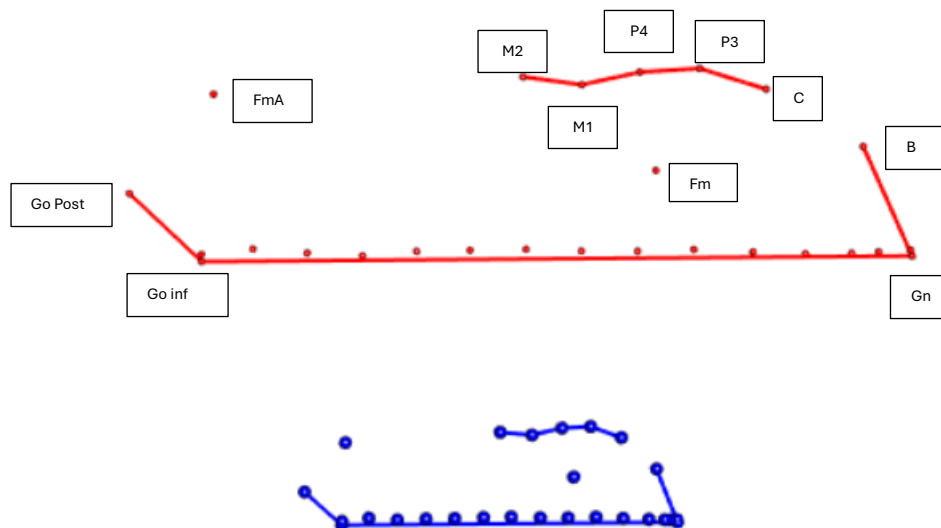
< Figure 20 > Analyse en Composantes Principales sur les semi-landmarks (ACP (PC1 26,9 %) et (PC2 19,9 %) de la variance totale

L'analyse de variance (ANOVA) réalisée sur les scores des deux premières composantes principales (PC1 et PC2) issues de l'ACP sur semi-landmarks ne révèle pas de différences significatives en fonction de la période (PC2 : $F(2, 27) = 0.95$, $p = 0.40$) ni de l'origine géographique (PC1 : $F(8, 21) = 0.38$, $p = 0.92$; PC2 : $F(8, 21) = 0.58$, $p = 0.79$). Ces résultats suggèrent une absence de structuration morphologique significative liée à ces facteurs dans la variation capturée par les deux premiers axes de l'ACP.

L'exploration des composantes principales PC3 et PC4 permet d'examiner une part complémentaire (24,2 % cumulée) de la variation des formes mandibulaires (Fig.21). Bien que ces axes soient moins dominants que PC1 et PC2, ils révèlent certaines nuances morphologiques intéressantes.

Sur le graphique PC3 vs PC4, la dispersion des individus reste marquée, notamment selon PC3, qui traduit une nouvelle dimension de variation morphologique. Quelques spécimens actuels, comme, occupent des positions extrêmes dans l'espace morphologique, en particulier dans les valeurs positives de PC4. À l'opposé, des fossiles comme Tabun, Ohaho I ou Sungrisan se situent dans les valeurs négatives de PC3 et PC4, contribuant à élargir le spectre morphologique global. Sangsi 19 reste dans des valeurs positives sur les deux axes et se situe entre les individus actuels et TPL2. Tandis que Sangsi 53 est dans des valeurs négatives sur PC4 mais dans les valeurs positives sur PC3 le rapprochant toujours des individus actuels et du néolithique.

correspondant respectivement aux configurations PC1min et PC1max. Les points de repère (landmarks) sont reliés par un wireframe, basé sur les connexions anatomiques, ce qui facilite la visualisation des changements morphologiques. La figure illustre ainsi clairement les régions de la mandibule qui varient le plus selon PC1, mettant en évidence les différences morphologiques globales entre ces deux extrêmes (Fig.22).



< Figure 22 > Illustration des formes mandibulaires extrêmes reconstruites le long du premier axe principal (PC1) de l'ACP. En rouge, la configuration des landmarks correspondant au score minimum (PC1min) ; en bleu, celle correspondant au score maximum (PC1max)

Sungrisan et Sangsi 19 se situent près de l'extrémité supérieure de l'axe principal de variation (PC1max), tandis que Mandal et Sangsi 53 apparaissent plus proches de l'extrémité inférieure (PC1min). Cette répartition est visible dans la figure qui montre la position des individus selon leurs scores sur PC1. Les formes extrêmes reconstruites à partir des scores min et max sur PC1 illustrent les variations anatomiques correspondant à ces extrémités.

Les formes extrêmes associées à PC1 illustrent une variation importante dans plusieurs régions de la mandibule. La configuration correspondant à PC1 min se caractérise par une hauteur mandibulaire plus élevée au niveau de la branche montante ainsi qu'un allongement antéro-postérieur marqué. La bordure inférieure de la mandibule présente une certaine irrégularité, qui apparaît comme un élément distinctif. À l'inverse, la configuration PC1 max montre une branche montante plus courte et inclinée, avec une hauteur mandibulaire relative réduite et un bord inférieur plus régulier. Ces différences reflètent une variation continue dans la forme mandibulaire, affectant à la fois les dimensions verticales et les positions relatives des points de référence.

5. Discussion

5.1. Spécificités morphologiques des mandibules coréennes

L'analyse morphologique des mandibules coréennes révèle une morphologie complexe et intermédiaire, les situant entre les *Homo sapiens* archaïques et les *Homo sapiens* actuels. Si la majorité des traits les distinguent des Néandertaliens, certains spécimens présentent néanmoins des caractéristiques morphologiques qui les rapprochent. Plusieurs traits morphologiques étudiés permettent de mettre en lumière cette position singulière.

L'un des caractères notables est la présence du sulcus extra-molaire, un sillon situé derrière la M3 et parfois prolongé jusqu'à la branche montante. Ce trait est systématiquement observé sur Mandal et Sungrisan, où il est bien développé, et également présent, sous une forme plus courte, sur Sangsi 19, 20 et 53. En revanche, il est absent chez la quasi-totalité des *Homo sapiens* actuels, ainsi que chez les *Homo sapiens* archaïques analysés ici. Bien que limitée à l'échantillon étudié, cette concentration pourrait correspondre à une réponse fonctionnelle ou à une dynamique évolutive propre à certains groupes humains de la région, mais cette hypothèse reste à explorer.

La présence répétée de l'éminence latérale chez les fossiles coréens, bien que d'intensité variable, suggère une persistance de traits morphologiques robustes. Ce relief osseux, absent ou très atténué chez les *Homo sapiens* actuels tandis que chez les spécimens coréens, sa fréquence pourrait refléter une adaptation fonctionnelle liée à un régime alimentaire exigeant mécaniquement ou à des pratiques culturelles impliquant une forte sollicitation de l'appareil manducateur. En cela, l'éminence latérale apparaît comme un caractère intermédiaire entre les profils archaïques robustes et les formes graciles actuels, contribuant à définir une mosaïque morphologique régionale propre aux populations de la péninsule.

La présence répétée de l'éminence latérale chez les fossiles coréens, bien que d'intensité variable, suggère la persistance de traits morphologiques associés à une certaine robustesse mandibulaire. Ce relief osseux, absent ou très atténué chez la plupart des *Homo sapiens* actuels, y compris en Asie de l'Est, est toutefois documenté, de façon plus modérée, chez certains *Homo sapiens* archaïques. Sa fréquence relativement élevée dans l'échantillon coréen pourrait refléter une contrainte fonctionnelle ou une convergence adaptative liée à des sollicitations masticatoires spécifiques.

La forte expression des torus marginaux, particulièrement du torus inférieur, observée chez les fossiles de la péninsule coréenne, témoigne de contraintes fonctionnelles importantes. Ce caractère s'inscrit dans un profil évolutif où la robustesse mandibulaire, bien qu'en diminution progressive, reste nettement plus marquée que chez les *Homo sapiens* actuels. Il participe à la définition d'une mosaïque morphologique propre aux populations régionales, combinant traits archaïques et caractères plus actuels.

Le creusement de la fosse ptérygoïde, variable au sein des fossiles coréens, constitue un indicateur pertinent des sollicitations musculaires appliquées sur cette région mandibulaire. Chez Sangsi 19, 20 et 53, cette fosse est modérément creusée à plane, ce qui évoque un fonctionnement musculaire modéré, conforme au profil des *Homo sapiens* actuels. À l'inverse, le spécimen de Mandal présente une fosse ptérygoïde légèrement plus marquée, sans atteindre toutefois la profondeur caractéristique généralement observée chez les Néandertaliens. Cette morphologie intermédiaire évoque une variabilité fonctionnelle intra-groupe, possiblement liée à des différences de régimes alimentaires ou de comportements culturels.

Par ailleurs, cette présence d'une fosse ptérygoïde postérieurement étendue, correspondrait à un caractère « primitif » du genre *Homo*, tel que souligné par Kaifu et *al.* (2011). Ce trait, bien que parfois associé à des formes archaïques, est observé ici dans un contexte de variabilité fonctionnelle, renforçant l'idée d'une mosaïque de caractères chez les spécimens coréens du Pléistocène supérieur. Ce constat s'inscrit dans les observations de Vialet et *al.* (2018), selon lesquelles une fosse ptérygoïde creusée, bien que fréquente chez les Néandertaliens, n'est pas exclusive à ce groupe, ayant également été identifiée chez d'autres hominines comme Xujiayao 14, ou encore certains *Homo sapiens* archaïques comme Ohalo 2 H2. Cette distribution élargie confirme que ce trait ne peut être interprété comme un marqueur phylogénétique strict, mais peut refléter une convergence fonctionnelle.

La récurrence d'un corps mandibulaire oblique dans l'échantillon coréen pourrait refléter une caractéristique morphologique régionale, possiblement en lien avec des contraintes fonctionnelles ou écologiques particulières. Cette orientation contribue à singulariser les mandibules coréennes dans un profil mosaïque, combinant des traits archaïques de robustesse avec des caractéristiques typiques du genre *Homo sapiens*. Elle suggère une persistance de pressions évolutives propres au contexte local ou à un comportement masticatoire distinct.

Les spécimens coréens s'inscrivent dans une variation allant d'une morphologie plus archaïque (comme chez Mandal et Sangsi 20) à des traits plus graciles et actuels (comme chez Sungrisan

et Sangsi 19). La position intermédiaire ou postérieure du foramen mentonnier chez plusieurs fossiles coréens témoigne d'un maintien de certains traits ancestraux, sans toutefois s'écarter de manière radicale de la variabilité chez les *Homo sapiens*.

Ainsi, les fossiles coréens comme Sangsi 53 occupent une position morphologique intermédiaire : leur menton est plus développé que celui observé chez les néandertaliens, mais moins saillant que chez TPL2 ou les *Homo sapiens* actuels. Cette expression modérée du *mentum osseum* renforce l'idée d'une mosaïque morphologique, mêlant caractères archaïques et traits plus actuels dans les mandibules coréennes du Paléolithique. Ce constat rejoint les observations de Dobson et Trinkaus (2002), selon lesquelles la forme actuelle du menton n'est pas exclusivement déterminée par les contraintes fonctionnelles liées à la mastication, mais reflète aussi des processus évolutifs partiellement indépendants.

5.2. Variation métrique

La diversité métrique observée au sein des spécimens coréens est particulièrement marquée. Mandal, présente une robustesse mandibulaire élevée, le rapprochant des fossiles archaïques tels que Kow Swamp, ou même certains Néandertaliens comme La Quina 9. À l'inverse, de Sungrisan, qui affiche des dimensions plus modérées. Les fossiles de Sangsi occupent quant à eux une position intermédiaire. Cette variation interne au groupe des coréens du sud et nord réunis, combinée à la position périphérique des spécimens coréens dans les analyses statistiques multivariées, suggère que ces populations du Pléistocène supérieur conservent certains caractères archaïques tout en partageant des traits avec les *Homo sapiens* actuels.

Les ACP effectuées avec toutes les données métriques, confirment cette variabilité, avec des spécimens coréens se répartissant de manière étendue entre des profils métriques proches des populations actuelles, des Néandertaliens, et des *Homo* du Pléistocène moyen et supérieur. Plutôt que de constituer un groupe homogène, les fossiles coréens forment un ensemble composite, marqué par la coexistence de valeurs archaïques, notamment une robustesse significative au niveau de la branche montante mandibulaire (hauteur et épaisseur élevées) et des torus marginaux bien développés, ainsi que par des caractéristiques dérivées, telles qu'une relative gracilité mandibulaire ou la présence d'un menton.

Ces résultats renforcent l'idée d'une évolution en mosaïque pour la région, où la modernité biologique ne s'impose pas de manière uniforme, mais résulte de trajectoires régionales différenciées, d'hybridations ponctuelles, et de continuités métriques. Ce modèle s'accorde

avec les propositions d'assimilation formulées par Vandermeersch (2011), qui postulent que l'émergence d'*Homo sapiens* actuels s'est accompagnée d'une intégration progressive, plutôt que d'un remplacement complet, des morphologies archaïques.

Par ailleurs, les mandibules coréennes présentent des affinités métriques avec d'autres spécimens asiatiques du Pléistocène moyen et supérieur, tels que Xujiayao 14, Zhirendong ou Penghu 1. La projection bivariée de la hauteur et de l'épaisseur de la symphyse (Fig. 9) montre que Mandal se positionne à proximité de Penghu 1, UC 101, tandis que Sangsi 19 se distingue également par une hauteur de symphyse proche de celle des spécimens asiatiques ZKD PA86 et Tianyuan, eux aussi caractérisés par des combinaisons inattendues mêlant archaïsme et traits actuels (Harvati et *al.*, 2019). Ces observations suggèrent l'existence d'isolats régionaux et de flux génétiques anciens ayant favorisé la persistance de certaines formes métriques sur le long terme, comme l'attestent aussi les données génomiques récentes (Reich et *al.*, 2011).

Au-delà d'une interprétation strictement phylogénétique, les dimensions élevées du corps mandibulaires au niveau des molaires et la robustesse de la région postérieure de la mandibule coréenne pourraient aussi refléter des pressions fonctionnelles et environnementales spécifiques. Comme le suggèrent Stringer et Galway-Witham (2018), certaines variations métriques peuvent découler de contraintes liées au régime alimentaire, à la mastication, ou à des pratiques culturelles, impliquant une forme de plasticité adaptative.

Ainsi, les spécimens coréens illustrent la complexité des trajectoires évolutives humaines en Asie durant le Pléistocène, trajectoires qui ne relèvent pas d'une progression linéaire vers des formes actuelles, mais qui s'inscrivent dans une dynamique évolutive plus large, marquée par des épisodes de métissage, l'existence d'isolats régionaux et la persistance de traits archaïques.

5.3. Apports de la morphométrie géométrique 3D

Les résultats morphométriques mettent en évidence une hétérogénéité notable au sein des spécimens coréens, particulièrement dans le groupe sud-coréen, contrastant avec l'homogénéité relative observée dans le groupe nord-coréen. Cette variabilité est manifeste tant au niveau de la projection des individus sur les ACP que dans la distribution des tailles centroïdes. Ainsi, Sangsi 53 et Sungrisan se situent à des positions extrêmes, respectivement très faibles et très élevées, encadrant la variation observée chez les *Homo sapiens* actuels, tandis que Mandal et Sangsi 19 présentent également des tailles centroïdes distinctes.

Cette dispersion pourrait refléter des dynamiques biogéographiques différentes à l'échelle du Paléolithique supérieur. Par exemple, la position de Sangsi 53, proche de certains *Homo sapiens* actuels d'Europe et d'Asie, pourrait suggérer une affinité avec des groupes issus de l'ouest de l'Eurasie. De même, Sungrisan, situé à proximité de spécimens du Levant comme Tabun, pourrait refléter des influences venues du Proche-Orient, ou témoigner de la persistance de traits archaïques dans certaines populations d'Asie de l'Est. Par ailleurs, cette hétérogénéité peut aussi s'interpréter comme le résultat d'une forte variabilité intra-groupe, possiblement accentuée par la génétique. La diversité morphologique observée en Corée pourrait dès lors être liée à une mosaïque d'occupations et de migration. Enfin, cette variabilité ne semble pas refléter des différences taxonomiques marquées, dans la mesure où l'analyse statistique ne met en évidence aucune structuration significative selon l'espèce ou la période.

Les variations notables de taille centroïde, en particulier parmi les spécimens sud-coréens, posent la question de leur signification biologique. La position extrême de Sungrisan, qui présente la plus grande taille centroïde de l'échantillon, dépasse même celle de plusieurs *Homo neanderthalensis*, connus pour leur robustesse mandibulaire. À l'inverse, les spécimens comme Sangsi 53, Mandal et Sangsi 19, présentent des tailles centroïdes plus faibles par rapport à la médiane des *Homo sapiens* actuels. Ces différences suggèrent que la morphologie mandibulaire de ces populations résulte d'une interaction complexe entre facteurs environnementaux, comportements culturels et dynamiques démographiques, expliquant ainsi l'importante variabilité observée au sein du groupe coréen.

Les analyses statistiques montrent une absence de discrimination claire, observée aussi bien sur la forme globale que sur les détails anatomiques de la mandibule. Cette continuité pourrait être influencées non seulement par des contraintes fonctionnelles, mais aussi par des facteurs environnementaux, culturels et comportementaux. La variabilité intra-groupe s'avère parfois aussi importante, voire plus grande, que la variabilité inter-groupe, renforçant l'idée que la diversité morphologique humaine résulte de processus évolutifs graduels avec des transitions pas encore toutes définies. Cette absence de structuration pourrait aussi refléter les limites des échantillons disponibles. Enfin, ces variations peuvent aussi avoir une composante historique et populationnelle, notamment en lien avec l'héritage phylogénétique. La présence de traits archaïques (Sungrisan) ou, à l'inverse, de traits moins prononcés (Sangsi 53) pourrait être le témoin de l'interaction entre différentes lignées humaines ou de processus d'évolution locale relativement indépendants des grandes dynamiques connues à l'échelle continentale.

6. Conclusion

Ce mémoire élargit les recherches paléanthropologiques en plaçant la péninsule coréenne, longtemps marginalisée, au centre de l'analyse. Il s'attache à situer les mandibules humaines du Paléolithique supérieur coréen dans le contexte plus vaste des populations fossiles d'Eurasie, d'Afrique et des groupes actuels.

Cette étude met en lumière l'importance des collections fossiles coréennes, encore peu explorées, pour mieux comprendre les dynamiques évolutives en Asie de l'Est. L'accès à des spécimens rares, parfois inédits comme ceux de Sangsi, ainsi que l'utilisation de moulages et de modèles 3D, enrichissent considérablement le corpus analysé.

Les analyses métriques et morphologiques mettent en évidence une grande diversité au sein des mandibules fossiles coréennes, aussi bien entre les groupes du Nord et du Sud de la péninsule qu'en comparaison avec d'autres populations humaines fossiles et actuelles. Cette variabilité morphologique s'exprime à la fois dans les caractères qualitatifs, tels que la présence et l'expression du sulcus extra-molaire, l'importance des torus marginaux ou encore l'orientation du corps mandibulaire. Elle se manifeste également dans les caractères quantitatifs, à travers plusieurs dimensions mandibulaires et indices, montrant une amplitude de formes allant de morphologies robustes, comparables à celles des Néandertaliens ou des *Homo sapiens* archaïques, à des profils plus proches des *Homo sapiens* actuels.

Certains spécimens coréens, comme Mandal et Sangsi 20, présentent des traits particulièrement robustes et marqués, évoquant les morphologies observées chez les Néandertaliens ou les *Homo sapiens* archaïques. À l'inverse, d'autres individus, tels que Sangsi 19 et 53, se rapprochent davantage des *Homo sapiens* actuels par des caractéristiques plus modérées, voire graciles. Cette variation interne reflète une hétérogénéité morphologique significative, traduisant des trajectoires évolutives diversifiées au sein du groupe.

L'analyse en composantes principales (ACP) sur les résidus issus de la superposition Procrustes, des mandibules fossiles coréennes révèle une dispersion morphologique centrée, sans formation de groupe distinct, confirmée par l'absence d'outliers et la cohérence des résultats statistiques. Mandal et Sangsi 53 se rapproche d'*Homo sapiens* archaïque comme Amud I. Sungrisan est plus proche des *Homo sapiens* actuels et d'*Homo neanderthalensis* comme Tabun. Enfin, Sangsi 19 montre une morphologie intermédiaire, entre *Homo sapiens* archaïque (comme TPL2) et des formes plus récentes.

Les tests ANOVA et MANOVA confirment l'absence de différences significatives selon l'espèce, la période ou l'origine géographique, bien que la taille centroïde varie notablement entre régions, avec une homogénéité relative en Corée du Nord et une plus grande diversité en Corée du Sud. Certains spécimens coréens, notamment Sangsi 53 et Sungrisan, se distinguent par des tailles centroïdes extrêmes, soulignant l'hétérogénéité morphologique intra-groupe. Enfin, l'ACP sur semi-landmarks capture près de 71 % de la variance morphologique, sans structuration claire par période ou origine, et les formes extrêmes du premier axe principal illustrent une différence dans l'allongement antéro-postérieur de l'os, la hauteur mandibulaire et la forme de la branche montante, traduisant une diversité morphologique importante au sein de l'échantillon.

Les résultats obtenus révèlent une grande variabilité morphologique au sein des fossiles humains coréens, confirmant leur position intermédiaire entre *Homo sapiens* archaïques et *Homo sapiens* actuels. Les analyses morphométriques 2D et 3D montrent une absence de regroupement strict selon l'espèce, la période ou l'origine géographique, suggérant une continuité évolutive plutôt qu'une nette séparation des populations. La taille centroïde met en évidence des différences significatives entre les groupes régionaux, notamment entre les populations coréennes du Nord et du Sud, ainsi qu'entre les populations africaines, eurasiatiques et océaniques. Par ailleurs, l'observation qualitative des mandibules souligne la diversité des traits anatomiques, certains spécimens coréens présentant des caractéristiques proches des Néandertaliens tandis que d'autres s'apparentent davantage aux *Homo sapiens* actuels ou archaïques, illustrant ainsi une mosaïque morphologique complexe.

Lorsqu'on allie ensemble les analyses morphométriques 2D et 3D, la diversité des mandibules coréennes du Pléistocène supérieur apparaît clairement. Les fossiles de Sangsi occupent une position intermédiaire, mêlant traits archaïques et actuels, ce qui illustre la coexistence et l'intégration progressive de ces caractères au sein des populations régionales. Mandal se caractérise par une robustesse mandibulaire prononcée et des traits archaïques marqués, le rapprochant des *Homo sapiens* archaïques et dans une moindre mesure, des Néandertaliens. En revanche, Sungrisan montre une morphologie plus gracile, proche des *Homo sapiens* actuels, tout en conservant quelques caractéristiques évoquant une influence néandertalienne. Cette variabilité interne souligne que les populations coréennes ne formaient pas un groupe homogène, mais un ensemble composite où persistaient des formes archaïques tout en intégrant des traits actuels. Ces résultats confirment que la diversité régionale témoigne de l'importance de la péninsule coréenne comme carrefour évolutif, à la croisée des influences est-asiatiques et

eurasiatiques, et renforcent l'hypothèse d'une évolution complexe, non linéaire, caractérisée par des échanges multiples et des trajectoires locales spécifiques.

Malgré les apports significatifs de cette étude, plusieurs limites persistent, notamment en raison du peu d'études réalisées sur les fossiles originaux, des difficultés d'accès aux collections nord-coréennes, et de la représentativité limitée de l'échantillon. La variabilité morphologique observée invite à étendre les analyses à un ensemble plus large d'échantillons issus des différentes régions d'Asie de l'Est et du Sud-Est mais également d'Europe. Une telle démarche permettrait de mieux appréhender les dynamiques évolutives et migratoires depuis le Paléolithique supérieur jusqu'au Néolithique, tout en tenant compte des interactions complexes avec d'autres hominines anciens. Les futures recherches gagneraient à développer des approches multidisciplinaires combinant morphométrie, génomique et archéologie, afin d'affiner l'étude des migrations et de l'évolution humaine dans ces régions.

Tables des figures

< Figure 1 > Mandibule Sangsi 19

< Figure 2 > Mandibule Sangsi 20

< Figure 3 > Mandibule Sangsi 53

< Figure 4 > Mandibules Sungrisan et Mandal

< Figure 5 > Pose des landmarks et semi-landmarks sur le modèle 1943-52-2

< Figure 6 > Distribution de la hauteur et de l'épaisseur de la branche montante chez différents groupes humains

< Figure 7 > Distribution de la hauteur de la branche montante mandibulaire au sein de différents groupes humains

< Figure 8 > Distribution de l'indice de la branche montante

< Figure 9 > Projection bivariée de la hauteur (H.S) et de l'épaisseur (E.S) de la symphyse mandibulaire chez différents groupes humains fossiles et actuels

< Figure 10 > Diagramme en violon représentant la distribution des hauteurs M2-M3

< Figure 11 > Diagramme en boîte comparant l'épaisseur M2-M3 entre les différents groupes étudiés

< Figure 12 > Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur neuf variables métriques mandibulaires : longueur de la mandibule (M68), hauteur de la branche montante (M70), largeur de la branche montante (M71), épaisseur de la branche montante (Ebm), largeur bi-goniale (M66), hauteur de la symphyse (M69), épaisseur de la symphyse (Es), hauteur de la mandibule au niveau des M2 (M69(2)) et épaisseur de la mandibule au niveau de la M2 (M69b)

< Figure 13 > Analyse des distances Procrustes avec moyenne et seuil d'outliers

< Figure 14 > Graphique de détection des outliers par distance Procrustes

< Figure 15 > Analyse en Composantes Principales (ACP) selon l'espèce et la période : (PC1 31,7%, PC2 19,8 %) à partir des coordonnées Procrustes

< Figure 16 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de l'origine géographique

< Figure 17 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de l'espèce

< Figure 18 > Distribution de la taille du centroïde en fonction de la période

< Figure 19 > Analyse en Composantes Principales sur les landmarks (ACP (PC1 8,62 %) et (PC2 7,50 %) de la variance totale

< Figure 20 > Analyse en Composantes Principales sur les semi-landmarks (ACP (PC1 26,9 %) et (PC2 19,9 %) de la variance totale

< Figure 21 > ACP sur les semi-landmarks (PC3 14,5 %) et (PC4 9,7 %) de la variance totale

< Figure 22 > Illustration des formes mandibulaires extrêmes reconstruites le long du premier axe principal (PC1) de l'ACP. En rouge, la configuration des landmarks correspondant au score minimum (PC1min) ; en bleu, celle correspondant au score maximum (PC1max)

< Figure 23 > Représentation bivariée de la longueur mandibulaire (M68) en ordonnée et de la largeur bigoniaque (M69) en abscisse pour l'ensemble des spécimens

< Figure 24 > Distribution de l'indice longueur mandibulaire / largeur bigoniaque selon les groupes étudiés : Homo sapiens coréens (Hs KR), Homo sapiens archaïques (HsA), spécimens d'Usu Moshiri (Usu), et Homo sapiens actuels (Hs).

< Figure 25 > Projection des individus selon les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) basée sur les coordonnées Procrustes.

< Figure 26 > Evolution taille centroïde selon période et espèce

Table des tableaux

< Tableau 1 > Description de l'état de conservation des mandibules de Sangsi

< Tableau 2 > État de conservation des mandibules d'hominines anciens de la Péninsule coréenne (X : Conservé, F : Fragmentaire, - : Non conservé)

< Tableau 3 > État de conservation des mandibules de Zoukoudian (UC 1962-75/UC 101), Tam Pà Ling (TPL2) et Usu-Moshiri (18B, D, F, H, 18J) ; *X : Conservé, F : Fragmentaire, - : Non conservé*

< Tableau 4 > Inventaire des mandibules de comparaison (fossiles et moulages, classés par ordre chronologique)

< Tableau 5 > État de conservation des mandibules fossiles de comparaison (ordre chronologique) *X : conservé ; F : fragmentaire ; – : non conservé*

< Tableau 6 > Définition des caractères morphologiques observés sur les mandibules

< Tableau 7 > Codification des caractères mandibulaires sélectionnés pour l'étude

< Tableau 8 > Définitions des mesures prises sur les mandibules

< Tableau 9 > Définition des indices mandibulaires utilisés dans l'étude

< Tableau 10 > Définition des landmarks anatomiques fixes utilisés

< Tableau 11> Inventaire des restes de Sangsi (PHC STAR « First Homo sapiens in Korea »)

< Tableau 12 > Caractéristiques des spécimens de comparaison (Zone géographique, datation, nature du matériel, références) – Abréviations : Pléistocène inférieur et moyen (P.i et m), Pléistocène moyen (P.m), Pléistocène supérieur (P.s), *Homo neanderthalensis* (N), *Homo sapiens* actuels (H.S)

< Tableau 13 > Numéro et identifiant des spécimens étudiés en morphométrie géométrique 3D

Références

Ouvrages :

De Lumley, H., Lee Y.J. Park Y.C, Bae K. et al., (2011). *Les industries du Paléolithique ancien de Corée du Sud dans leur contexte stratigraphique et paléoécologique : leur place parmi les cultures du Paléolithique ancien en Eurasie et en Afrique*, Paris, CNRS éditions.

Martin, R. (1928). *Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung: mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden*, Jena.

Nikita, E., & Rehren, T. (Eds.). (2024). *Encyclopedia of Archaeology* (2^e éd., Vol. 3, pp. 21–28). Academic Press.

JL. Perrot R, A. Janssens P, (2006-2017). *Précis d'anthropobiologie descriptive et métrique du squelette*, Laboratoire d'anthropologie anatomique et de paléopathologie de Lyon.

Suzuki H. et Hanihara K. (1982). *The Minatogawa man – The Upper Pleistocene Man from the Island of Okinawa*, The University Museum, The University of Tokyo, Bulletin No.19.

Wu, X., & Poirier, F. E. (1995). *Human Evolution in China: A Metric Description of the Fossils and a Review of the Sites*. Oxford University Press.

Articles:

Adachi, N., Dodo, Y., Ohshima, N., Doi, N., Yoneda, M., & Matsumura, H. (2003). Morphologic and genetic evidence for the kinship of juvenile skeletal specimens from a 2,000-year-old double burial of the Usu-Moshiri Site, Hokkaido, Japan. *Anthropological Science*, 111(3), 347–363

Adachi, N., Suzuki, T., Sakae, K., Takigawa, W., Ohshima, N., & Dodo, Y. (2006). Kinship analysis of the Jomon skeletons unearthed from a double burial at the Usu-Moshiri site, Hokkaido, Japan. *Anthropological Science*, 114(1), 29–34

Ahern, J. C. M. (2015). Archaic *Homo*. In M. A. Little (Ed.), *Basics in human evolution* (pp. 163–176). Academic Press.

青野 友哉・永谷 幸人 (2022) . 北海道伊達市有珠モシリ遺跡発掘調査概要報告 .

『歴史遺産研究』第 15 号 , 11 頁. - Aono, T., & Nagaya, Y. (2022). Overview on Archaeological Excavation of the Usumoshiri Site in Date City, Hokkaido. *Journal of Historical Heritage Studies*, 15, 11.

Baba H. et Narasaki S. (1991). Minatogawa Man, the Oldest Type of Modern Woman *Homo sapiens* in East Asia. *The Quaternary Research*, 30 (2), p.221-230.

Bae, C. J., & Guyomarc'h, P. (2015). Potential Contributions of Korean Pleistocene Hominin Fossils to Palaeoanthropology: A View from Ryonggok Cave. *Asian Perspectives*, 54(1), 24–43.

Bae, C. J. (2017). Late Pleistocene Human Evolution in Eastern Asia. *Current Anthropology*, 58(S17).

Benazzi, S., Stansfield, E., Kullmer, O., Fiorenza, L., & Gruppioni, G. (2009). Geometric morphometric methods for bone reconstruction: The mandibular condylar process of Pico della Mirandola. *The Anatomical Record*, 292(8).

Bermúdez de Castro, J. M., & Martínón-Torres, M. (2022). The origin of the *Homo sapiens* lineage: When and where? *Quaternary International*, 634, 1–13.

Boivin, N., Fuller, D. Q., Dennell, R., Allaby, R., & Petraglia, M. D. (2013). Human dispersal across diverse environments of Asia during the Upper Pleistocene. *Quaternary International*, 300, 32–47.

Bookstein, F. L. (1997). Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Medical Image Analysis*, 1(3), 225–243.

Choe, R. S., Han, K. S., Kim, S. C., Ri, M. H., & Ri, J. N. (2021). Preliminary investigation of Late Pleistocene fauna from Ryonggok Cave No. 1, Sangwon County, North Hwanghae Province, Democratic People's Republic of Korea. *Journal of Quaternary Science*, 36.

Cho, T.-S. (2006). La faune préhistorique de la région de Jungwon en Corée et la relation entre l'Homme et l'Animal. *L'Anthropologie*, 13p.

Choi, M.-L., & Rhee, S.-N. (2001). Korean archaeology for the 21st century: From prehistory to state formation. *Seoul Journal of Korean Studies*, 14, 117–147.

Choi, Y., Park, H., Lee, J.-S., Park, J.-C., Kim, C.-S., Choi, S.-H., Cho, K.-S., Chai, J.-K., & Jung, U.-W. (2012). Prevalence and anatomic topography of mandibular tori: Computed tomographic analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(4), 731–736

Costa Mendes, L., Delrieu, J., Gillet, C., Telmon, N., Maret, D., & Savall, F. (2021). Sexual dimorphism of the mandibular conformational changes in aging human adults: A multislice computed tomographic study by geometric morphometrics. *PLOS ONE*, 16(6).

De Lumley, H. (2012). Les industries du Paléolithique ancien de la Corée du Sud. *Comptes rendus des séances de l'année - Académie des inscriptions et belles-lettres*, 156(2).

Demeter, F., Shackelford, L., Westaway, K., Durringer, P., Bacon, A.-M., Ponche, J.-L., et al. (2015). Early modern humans and morphological variation in Southeast Asia: Fossil evidence from Tam Pa Ling, Laos. *PLoS ONE*, 10(4).

- Demeter, F., Shackelford, L., Westaway, K., Barnes, L., Düringer, P., Ponche, J.-L., Dumoncel, J., Sénégas, F., Sayavongkhamdy, T., Zhao, J.-X., Sichanthongtip, P., Patole-Edoumba, E., Dunn, T., Zachwieja, A., Coppens, Y., Willerslev, E., & Bacon, A.-M. (2017). Early Modern Humans from Tam Pà Ling, Laos: Fossil Review and Perspectives. *Current Anthropology*, 58(S17).
- Dennell, R. (2009). *The Palaeolithic Settlement of Asia*. Cambridge University Press.
- Dennell, R. (2010). Early *Homo sapiens* in China. *Nature*, 468, 512–513.
- Dennell, R., & Petraglia, M. D. (2012). The dispersal of *Homo sapiens* across southern Asia: How early, how often, how complex? *Quaternary Science Reviews*, 47, 15–22.
- Dennell, R., Martínón-Torres, M., Bermúdez de Castro, J. M., & Gao, X. (2020). A demographic history of Late Pleistocene China. *Quaternary International*, 559, 4–13.
- Dobson, K., & Trinkaus, E. (2002). Variation in the morphology of the mandibular symphysis in Pleistocene humans. In J.-J. Hublin & M. P. Richards (Eds.), *The evolution of the human skeleton* (pp. 70–85). Wiley-Blackwell.
- Etler, D. A. (1996). The fossil evidence for human evolution in Asia. *Annual Review of Anthropology*, 25, 275–301.
- Fournier, G., Maret, D., Telmon, N., & Savall, F. (2023). An automated landmark method to describe geometric changes in the human mandible during growth. *Archives of Oral Biology*, 149.
- Freidline, S. E., Westaway, K. E., Joannes-Boyau, R., Düringer, P., Ponche, J.-L., Morley, M. W., Hernandez, V. C., McAllister-Hayward, M. S., McColl, H., Zanolli, C., Gunz, P., Bergmann, I., Sichanthongtip, P., Sihanam, D., Boualaphane, S., Luangkoth, T., Souksavatdy, V., Dosseto, A., Boesch, Q., ... Demeter, F. (2023). Early presence of *Homo sapiens* in Southeast Asia by 86–68 kyr at Tam Pà Ling, Northern Laos. *Nature Communications*, 14.
- Gao, X., Shen, C., & Wang, H. (2008). Zhoukoudian Upper Cave revisited. *Current Anthropology*, 49(4), 732–745.
- 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(3), 316–334.
- Gunz, P., & Mitteroecker, P. (2013). Semilandmarks: A method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 103–109.
- H. Ao, J. Ruan, M. Martínón-Torres, M. Krapp, D. Liebrand, M.J. Dekkers, T. Caley, T.N. Jonell, Z. Zhu, C. Huang, X. Li, Z. Zhang, Q. Sun, P. Yang, J. Jiang, X. Li, X. Xie, Y. Song, X. Qiang, P. Zhang, & Z. An, (2024). Concurrent Asian monsoon strengthening and early modern human dispersal to East Asia during the last interglacial, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 121, 3.

- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.
- Harvati, K., & Reyes-Centeno, H. (2022). Evolution of Homo in the Middle and Late Pleistocene. *Journal of Human Evolution*, 165.
- Hong, S., Tong, H., Zhang, S., Chen, F., & Trinkaus, E. (2007). An early modern human from Tianyuan Cave, Zhoukoudian, China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(16), 6573–6578
- Hublin, J.J., (2021). How old are the oldest *Homo sapiens* in Far East Asia, *PNAS*, Vol. 118 No.10.
- Kaifu, Y., Fujita, M., Kono, R. T., & Baba, H. (2011). Late Pleistocene modern human mandibles from the Minatogawa Fissure site, Okinawa, Japan: Morphological affinities and implications for modern human dispersals in East Asia. *Anthropological Science*, 119(2), 137–157.
- Kaifu, Y., Baba, H., Sutikna, T., Morwood, M. J., Kubo, D., Saptomo, E. W., Jatmiko, Awe, R. D., & Djubiantono, T. (2011). Craniofacial morphology of Homo floresiensis: Description, taxonomic affinities, and evolutionary implication. *Journal of Human Evolution*, 61(6), 644–682
- Kang, P.-Y., Ji, W.-H., Kim, I.-G., Ri, M.-H., Ri, J.-N., & Kim, I.-N. (2021). The age of the Palaeolithic sedimentary layer of Hyangmokri cave site in the Democratic People’s Republic of Korea. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 40.
- Kim, J.-Y., Lee, Y.-J., Jo, H.-J., & Lee, S.-H. (2018). A Late Pleistocene modern human fossil from the Gunang Cave, Danyang County in Korea. *Quaternary International*.
- Klein, R. G. (2008). Out of Africa and the evolution of human behavior. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 17(6), 267–281.
- Kong, S., & Lee, Y.-J. (2006). L’industrie lithique du Paléolithique dans la région de Jungwon en Corée. *L’Anthropologie*, 110(2), 173–185.
- Kraljević Simunković, S., Božić, M., Alajbeg, I. Z., Dulčić, N., & Vucićeović Boras, V. (2011). Prevalence of torus palatinus and torus mandibularis in the Split-Dalmatian County, Croatia. *Collegium Antropologicum*, 35(3), 637–641
- 栗須 幸次郎 (1967) . 北海道有珠貝塚における人骨遺存体の人類学的研究：1) 室町・桃山期の頭蓋について 2) フッ素含有量による人骨遺存体の相対年代の測定. 『日本人類学会雑誌』第 75 巻第 3 号, 103–119 頁. – Kurisu, K. (1967). Anthropological study on the human skeletal remains from Usu Shell-mound in Hokkaido: (1) On the skulls of the remains of Muromachi–Momoyama period, (2) Determination of relative antiquity of human skeletal remains by fluorine contents. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 75(3), 103–119.
- Larson, D. (1978). Dental Morphology of the Gran Quivira Indians. *Arizona State University*.

- Lee, H.-K. (2020). Origin of Korean people and DNA tracking. *한·국·사·배·려·아·연·구*, 24.
- Lee, H.-W. (2013). Current observations of the early Late Paleolithic in Korea. *Quaternary International*, 314, 3–10.
- Lee, H.-W. (2016). Patterns of transition in Paleolithic stages during MIS 3 and 2 in Korea. *Quaternary International*, 423, 3–10.
- Lee, S., Seo, J., Park, J., Nam, J. Y., Choi, A., Ignatius, J. S., & Choi, M. (2017). Korean Variant Archive (KOVA): a reference database of genetic variations in the Korean population. *Scientific Reports*, 7.
- Lee, Y.-J., & Woo, J.-Y. (2006). La culture du Paléolithique dans la région de Jungwon en Corée. *L'Anthropologie*, 110(2), 161–173.
- O'Connell, J. F., Allen, J., Williams, M. A. J., Williams, A. N., Turney, C. S. M., Spooner, N. A., Kamminga, J., Brown, G., & Cooper, A. (2018). When did *Homo sapiens* first reach Southeast Asia and Sahul? *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 115(34), 115(34).
- Park, S.-J. (2006). L'hominidé du Pléistocène supérieur en Corée. *L'Anthropologie*, 110, 162–174.
- Park, W.-K., Kim, Y.-J., & Lee, Y.-J. (2006). Reconstitution de la végétation et du paléoclimat à partir de charbons de bois prélevés sur les sites du Paléolithique dans la région de Jungwon en Corée. *L'Anthropologie*, 110, 152–161.
- Peyre, E. (2004). La mandibule humaine adulte : variation intra-population et essai d'interprétation morphologique. *Biométrie Humaine et Anthropologie*, 22(3-4), 203–225.
- Reichart, P. A., NeuhPeyraus, F., & Sookasem, M. (1988). Prevalence of torus palatinus and torus mandibularis in Germans and Thai. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 17(2), 85–87.
- Sawafuji, R., Tsutaya, T., Takahata, N., Pedersen, M. W., & Ishida, H. (2024). East and Southeast Asian hominin dispersal and evolution: A review. *Quaternary Science Reviews*, 333.
- Schwarcz, H. P., Simpson, J. J., & Stringer, C. B. (1998). Neanderthal skeleton from Tabun: U-series data by gamma-ray spectrometry. *Journal of Human Evolution*, 35(6), 635–645.
- Shackelford, L., Demeter, F., Westaway, K., Düringer, P., Ponche, J.-L., Sayavongkhamdy, T., Zhao, J.-X., Barnes, L., Boyon, M., Sichanthongtip, P., Ségas, F., Patole-Edoumba, E., Coppens, Y., Dumoncel, J., & Bacon, A.-M. (2015). Additional evidence for early modern human morphological diversity in Southeast Asia at Tam Pa Ling, Laos. *Quaternary International*, 416, 249–262.
- Shook, B., Nelson, K., Aguilera, K., & Braff, L. (Eds.). (2019). Explorations: An open invitation to biological anthropology. *American Anthropological Association*, Arlington, VA.

- Sohn, P. K. (1987). *Homo sapiens sangsiensis*. *L'Anthropologie*, 89, 147–150.
- Sohn, S. G. (1986). Contribution à l'étude des restes humains découverts à Sangsi, Corée du Sud – Les Os Pariétaux -, Mémoire de DEA, *Muséum National d'Histoire Naturelle*.
- Sohn, S. G. (1988). Contribution à l'étude des restes des os pariétaux découverts à Sangsi. In *Archaeological and Anthropological Bulletin of Memoir for Professor Sohn Powkey*.
- Sou, Y. (2004). A proposed method for the identification of race in subadult skeletons: A geometric morphometric analysis of mandibular morphology. *Journal of Forensic Sciences*, 49(6), 1–8.
- Tong, H., Zhang, S., Chen, F.-Y., Trinkaus, E., & Wu, X. (2007). An early modern human from Tianyuan Cave, Zhoukoudian, China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(16).
- Vialet, A., Modesto-Mata, M., Martín-Torres, M., Martínez de Pinillos, M., & Bermúdez de Castro, J.-M. (2018). A reassessment of the Montmaurin-La Niche mandible (Haute Garonne, France) in the context of European Pleistocene human evolution. *PLoS ONE*, 13(1).
- Vila-Blanco, N., Varas-Quintana, P., Aneiros-Ardao, Á., Tomás, I., & Carreira, M. J. (2021). Automated description of the mandible shape by deep learning. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16, 2215–2224.
- Wu, X., Pei, S., Cai, Y., Tong, H., Zhang, Z., Yan, Y., Xing, S., Martín-Torres, M., Bermúdez de Castro, J. M., & Liu, W. (2023). Morphological and morphometric analyses of a late Middle Pleistocene hominin mandible from Hualongdong, China. *Journal of Human Evolution*, 182.
- Zhang, J., & Dennell, R. (2018). The last of Asia conquered by *Homo sapiens*. *Science*, 362.

Mémoires :

- Cachard, G. (2024), *Les hominines anciens de la péninsule coréenne - Caractérisation morphométrique et comparaison avec des hominines fossiles et actuels* -, Mémoire M1 Paléoanthropologie, IMQP MNHN, 36p.
- Commeureuc, M. (2022). *Étude d'un reste humain du Pléistocène Supérieur. Site de Sangsi 1 en Corée du Sud*, Mémoire de M1 Archéologie, UPVD, 54p.
- Commeureuc, M. (2023). *Étude de la série anthropologique du Paléolithique récent de l'abri 1 de Sangsi (Corée du Sud)*, Mémoire de M2 Archéologie, UPVD.

Références en coréen

Traduction des références effectuée par l'autrice

Ouvrages

인류진화발전사연구실, (1995), 『조선서북지역의 동굴유적』, 김일성종합대학출판사.
- Centre de recherche en évolution humaine de l'Université de Kim Il Sung (1995), *Vestiges des grottes de la région du nord-ouest de la Corée*, Presses de l'Université Kim Il-sung.

한창균, (1990), 『북한의 선사고고학 – 구석기시대와 문화』, 백산문화. - Han Chang-gyun (1990), *Archéologie préhistorique de la Corée du Nord – Le Paléolithique et sa culture*, Baeksan Munhwa.

한창균, (2020), 『북한 고고학 연구』, 혜안 - Han Chang-gyun (2020), *Recherches archéologiques sur la Corée du Nord*, Hyeon.

사회과학원고고학연구소, 2009, 『북부조선지역의국석기시대유적』, 덕천승리산유적, 조선고고학전서 01, 155-179 쪽 - Institut d'archéologie de l'Académie des sciences sociales (2009), *Vestiges du Paléolithique dans le nord de la Corée*, dans *Les vestiges de Seungnisan à Deokcheon, Série sur l'archéologie coréenne*, vol. 1, p. 155-179.

사회과학원고고학연구소, (2009), 『조선의짐승뼈화석 (3)』, 조선고고학총서 56, 고생물편 2 - Institut d'archéologie de l'Académie des sciences sociales (2009), *Fossiles d'ossements d'animaux de Corée (3)*, *Collection d'archéologie coréenne*, vol. 56, Série paléontologique, vol. 2.

사회과학원고고학연구소, (2009), 『조선의짐승뼈화석 (3)』, 조선고고학총서 57, 고생물편 2 - Institut d'archéologie de l'Académie des sciences sociales (2009), *Fossiles d'ossements d'animaux de Corée (3)*, *Collection d'archéologie coréenne*, vol. 57, Série paléontologique, vol. 2.

사회과학원 고고학연구소, (2010), 『조선사회과학학술집 210 고고학편 : 고고학연구논문집 9』, 평양:사회과학출판사 - Institut d'archéologie de l'Académie des sciences sociales (2010), *Recueil d'articles de recherche en archéologie 9 – Revue des sciences sociales de Corée*, vol. 210, Pyongyang : Maison d'édition des sciences sociales.

장우진, (2010), 『조선사회과학학술집 246 고고학편 : 고고학연구논문집 9』, 평양:사회과학출판사 - Jang U-jin (2010), *Recueil d'articles de recherche en archéologie 9 – Revue des sciences sociales de Corée*, vol. 246, Pyongyang : Maison d'édition des sciences sociales.

장우진, 김홍걸, (2010), 『조선사회과학학술집 198 : 고고학연구논문집 7』, 평양:사회과학출판사 - Jang U-jin, Kim Hong-geol (2010), *Recueil d'articles de recherche en archéologie 7 – Revue des sciences sociales de Corée*, vol. 198, Pyongyang : Maison d'édition des sciences sociales.

조태섭, (2023), 『정선 매둔 동굴유적 문화재 지정을 위한 학술세미나』, 연세대학교박물관 - Jo Tae-seop (2023), *Séminaire académique pour la désignation patrimoniale du site de la grotte de Maedun à Jeongseon*, Musée de l'Université Yonsei.

김신규·김교정·백기하·장우진·서국태, (1985), 승호구역 만달리동굴유적, 『유적발굴보고』 - 14 집, 과학백백과사전출판사. - Kim Sin-gyu, Kim Gyo-jeong, Baek Gi-ha, Jang U-jin, Seo Guk-tae (1985), *Site de la grotte de Mandal-ri, district de Seungho, Rapport de fouilles archéologiques*, vol. 14, Maison d'édition de l'Encyclopédie scientifique.

한국고고학회, (2015), 『한국 고고학 강의』, 사회평론 - Korean Archaeological Society (2015), *Cours d'archéologie coréenne*, Saheopyeongnon.

『덕천 승리산 유적 발굴보고』 (1978), 과학 백과사전 출판사 - *Rapport de fouilles du site de Seungnisan à Deokcheon* (1978), Maison d'édition de l'Encyclopédie scientifique.

손보기, (1984) 『상시 1 그늘옛살림터』, 연세대학교 선사연구실 - Sohn Pokee, (1984), *L'abri sous roche de Sangsi 1*, Laboratoire de recherche préhistorique, Université Yonsei.

손보기, (1998) 『한국 구석기학 연구의 길잡이』, 연세대학교 출판부 - Sohn Pokee, (1988), *Guide pour l'étude du Paléolithique en Corée*, Presses de l'Université Yonsei.

Articles

한창균. 2008. “한국의 후기 구석기시대 자연환경.” *한국고고학보* 66: 4-47. - Han, C. G. (2008). L'environnement naturel de la fin du Paléolithique en Corée. *Journal de l'Archéologie Coréenne*, 66, 4-47.

한창균, 서인선, 김경진, (2021), 「연천 삼거리에서 발견된 르발루아 몸돌의 연구 예보」, 『學林』, 제 47 집, 85-122 - Han, C. G., Seo, I. S., & Kim, G. J. (2021). Étude préliminaire sur les nucléus Levallois découverts à Samgeori, Yeoncheon. *Haknim*, 47, 85-122.

조태섭, 「동물화석을 통해본 우리나라 구석기시대의 동굴유적의 성격」, 『국사관논총』 제 91 집, 國史編纂委員會, 2000 - Jo, T. S. (2000). Le caractère des sites en grotte du Paléolithique en Corée à travers les fossiles animaux. *Revue de l'Institut national de l'histoire de Corée*, 91. Commission coréenne de compilation de l'histoire.

강릉일 (2023). 「포분화석에 의한 만달리 매리동굴일대의 옛 자연환경연구」, 『종합대학학보 지구환경과학 및 지질학』, 주체 112, 제 69 권 제 2 호. Kang, R.I. (2023). Étude du paléo-environnement autour de la grotte de Mandali à partir de fossiles de coprolithes. *Journal de l'Université Polytechnique*, Géosciences et Environnement, 69(2).

김홍걸, 1993, 덕천 승리산동굴 유적의 포자-화분구성 승리산사람의 화석층, 조선고고연구, 1, 42-46 - Kim, H. G. (1993). Composition pollinique du niveau fossilifère de la grotte de Seungnisan à Deokcheon. *Études archéologiques de Corée*, 1, 42-46.

김홍걸, 2003, 검은모루 유적의 포자-화분구성에 대한 고찰, *조선고고연구* 2, 11-17
- Kim, H. G. (2003). Analyse de la composition pollinique du site de Geomeunmoru. *Études archéologiques de Corée*, 2, 11-17.

김홍걸, (2008) 「 (논문) 포자 - 화분구성에 반영된 승리산유적의 자연환경 (<덕천사람> 화석층) 」, 『조선고고연구』, 사회과학원 고고학연구소, 주체 97 제 1 호, 30-32. - Kim, H. G. (2008). L'environnement naturel du site de Seungnisan révélé par la composition pollinique du niveau fossilifère de l'« Homme de Deokcheon ». *Études archéologiques de Corée*, 1 (Juche 97), 30-32. Institut d'archéologie, Académie des sciences sociales.

고일홍, (2023). 「김일성·김정일·김정은 시대의 북한 고고학 비교: 조선 고고연구 '멀리서 읽기'」, 『통일과 평화』, 15(1), 서울대학교 통일평화연구원. - Ko, Ilhong, Comparative Study of North Korean Archaeology in the Kim Il Sung, Kim Jong Il, and Kim Jong Un Eras : A 'Distant Reading' of Joseon Gogo Yeongu, *Unification et Paix*, vol. 15, no 1, Institut d'études sur la réunification et la paix, Université nationale de Séoul.

이기성, (2020). 「북한 청동기시대 고고학 연구 경향의 변화와 쟁점」, 『문화제』, 제 23 권 3 호, 국립문화제연구원. - Lee, G. S. (2020). Évolutions et enjeux des recherches archéologiques nord-coréennes sur l'âge du bronze. *Revue du patrimoine culturel*, 23(3). Institut national de recherche sur le patrimoine culturel.

어해남, (1999), 「만달리 유적의 속돌들에 고찰」, 『조선고고연구』, 사회과학원 고고학연구소, 주체 88 제 3 호. - Oh, H. N. (1999). Analyse des galets aménagés du site de Mandal-ri. *Études archéologiques de Corée*, 3 (Juche 88). Institut d'archéologie, Académie des sciences sociales.

Sohn, P. K. (1981). A preliminary report of Sangsi rockshelter. In *The Dawn of Ancient History of Korea*. Chungbuk National University.

Journaux

KCNA. (2022, avril 2). *만달리유적*. Voice of Korea (KR).

박정원, (1994.06.18), 「룡곡제 1 호동굴유적에서 발굴된 인류화석에 대하여」, 통일신보. - Park, J. W. (1994, 18 juin). À propos du fossile humain découvert dans la grotte n°1 de Ryonggok. *Tongil Sinbo*.

이유범, '정인보 상' 수상자로 손보기 전 교수·김민수 부민양행 대표 선정, 파이낸셜뉴스, 2020.12 - Lee, Y. B. (2020, décembre). Sohn Pokee, ancien professeur, et Kim Min-su, PDG de Buminyanghaeng, lauréats du prix Jeong In-bo. *Financial News*. <https://www.fnnews.com/news/202012011406305553?>

이현주, 손보기 전 연세대 교수-김민수 부민양행 대표 ‘위당 정인보상’ 수상, 아시아경제, 2020.12 - Lee, H. J. (2020, décembre). Sohn Pokee, ancien professeur de Yonsei, reçoit le prix Jeong In-bo. *Asia Economy*. <https://www.asiae.co.kr/article/2020120115321203907?>

동아일보, 박사학위 획득, 동아디지털아카이브, 석간 5 면 사회, 1964.02.05 - *Dong-A Ilbo*. (1964, 5 février). Obtention du doctorat. *Dong-A Digital Archive*, édition du soir, p. 5, rubrique société. <https://www.donga.com/archive/newslibrary/view?ymd=19640205>

대동강류역에서 알려진 만달리유적에 대하여 - (Sans auteur spécifié), À propos du site de Mandal-ri connu dans le bassin du Daedonggang, Article 2021, Université de Kim Il Sung

http://www.ryongnamsan.edu.kp/univ/ko/research/articles/8859a81bd114df94d9f432350c934f4a?search_keyword=%EB%A7%8C%EB%8B%AC

https://db.history.go.kr/diachronic/level.do?levelId=kn_029_0010_0030_0010#notekn_029_0010_0049

Annexes

< Tableau 11> Inventaire des restes de Sangsi (PHC STAR « First *Homo sapiens* in Korea »)

N° Yonsei	Abri	Couche	N° Sohn	détermination			dimensions
Couche 2							
15	1	2	121	fragment os temporal (pétreux) gauche	immature ?	mastoïde de petite dimension (croissance > 5 ans ?)	55*28*26
16	1	2	122	fragment droit os occipital	immature ?	fin, bombement écaille occipitale	59*48*5
17	1	2	127	fragment os pariétal droit (suture sagittale)	immature ?	fin, traces noires (feu ?)	35*31*4
18	1	2	123	fragment os pariétal gauche	immature ?	fin, RMM	51*44*2
21	1	2	137	calcaneus gauche		traces noires (feu ?)	64*31*37
22	1	2	136	calcaneus droit			65*36*38
23	1	2	152	patella droite			42*37*20
24	1	2	141	talus droit			54*40*31
25	1	2	144	talus droit			51*38*29
26	1	2	154	cunéiforme médial droit			34*29*19
48	1	2	209	phalange proximale pied			29*12*11
98	1	2	139	talus gauche			57*40*33
99	1	2	143	talus gauche			56*38*33
100	1	2	140	talus gauche			55*38*30
101	1	2	138	talus gauche			61*45*35
102	1	2	142	talus gauche			57*40*32
126	1	2	215	phalange distale main			17*11*6
129	1	2	217	phalange distale main			20*11*7
131	1	2	214	phalange distale main			24*14*8
Couche 5							
19	1	5	317	hémi-mandibule gauche	aucune dent	racine P4 inf / remodelage osseux au niveau M (perte, parodontite)	
20	1	5	318	fragment de mandibule gauche	M1-M2-M3		77*58*21
27	1	5	404	cuboïde gauche			38*30*25
34	1	5	419	MTC 2 droit			60*17*16
36	1	5	410	MTC 2 droit			68*19*18
43	1	5	424	phalange proximale rayon 1			34*20*17
44	1	5	429	phalange proximale main			42*16*12
45	1	5	435	phalange proximale main	immature (non totalement épyphysié)		42*14*11
47	1	5	440	phalange proximale pied			27*12*12
49	1	5	542	phalange moyenne main			28*13*10
93	1	5	353	humérus gauche	sans extrémité proximale (tête humérale)		238*57*25
94	1	5	477	radius gauche		partie distale recollée	230*34*24
103	1	5	418	MTT 4 droit			65*14*20
108	1	5	432	MTC 4 droit			57*13*12
109	1	5	420	MTT 3 gauche			61*12*19
116	1	5	434	phalange proximale main			39*16*12
118	1	5	431	MTC 4 droit			49*11*12
119	1	5	449	phalange moyenne main			18*11*8
120	1	5	423	phalange proximale main			44*17*13
121	1	5	430	phalange proximale main			41*14*13
124	1	5	433	phalange proximale main			43*15*12
128	1	5	438	phalange proximale pied			29*14*13
133	1	5	450	phalange moyenne main			18*11*7
134	1	5	343	phalange moyenne main		arthrose	22*12*8
135	1	5	544	phalange proximale pied			24*10*9
vitrine		5	354	ulna droit		robuste, insertions muscu dev	246*17*39
vitrine		5		scapula droite			130*107*60
vitrine		5	314	fragment pariétal gauche		connexion avec 317	47*44*7
vitrine		5	317?	fragment pariétal gauche		connexion avec 314	67*61*9
vitrine		5 ?		fragment pariétal droit		deux fragments recollés	99*66*8
Couche 7							
28	1	7	2801	scaphoïde gauche			28*15*14
33	1	7	499	MTC 3 gauche			61*13*15
35	1	7	498	MTC 3 gauche			66*14*17
37	1	7	497	MTC 2 droit			72*19*18
38	1	7	504	MTC 5 droit			54*15*11
39	1	7	500	MTC 3 droit			56*14*16
40	1	7	501	MTC 4 gauche			57*13*11
41	1	7	521	phalange proximale rayon 1		excroissance osseuse	29*19*15
42	1	7	523	phalange proximale rayon 1			32*21*16
46	1	7	527	phalange proximale main			38*16*11
89	1	7	474	7e vertèbre cervicale			58*63*21
90	1	7	475	4e ou 5e vertèbre cervicale		spina bifida	43*50*18
92	1	7	456	humérus droit	sans extrémité proximale	fonctionne avec l'ulna 95	260*53*25
95	1	7	458	ulna droit		fonctionne avec l'humérus 92	227*31*25
96	1	7	548	calcaneus gauche			82*43*47
104	1	7	494	MTC 2 droit			62*17*16
105	1	7	496	MTT 4 gauche			67*13*18
106	1	7	495	MTT 2 gauche			63*13*21
110	1	7	493	MTC 3 droit			61*14*16
111	1	7	518	MTC 5 droit			50*13*10
112	1	7	507	MTT 4 gauche			62*15*17
113	1	7	506	MTC 3 gauche			57*13*16
114	1	7	510	MTC 1 droit			43*15*16
115	1	7	524	phalange proximale main			35*15*11
117	1	7	502	MTC 4 droit			55*13*14
122	1	7	526	phalange proximale main			38*15*11
123	1	7	539	phalange proximale main			34*14*11
125	1	7	519	MTC 5 droit			47*13*11

Couche 8					
132	1	8	557 phalange proximale pied		24*12*10
Sans N° de couche					
107	1	?	505 ? MTT 2 droit		66*14*23
53	1	2 ou 5 ?	316 mandibule avec M1 d&g	perte ante mc encroûtement	
29	1	ramassage	scapuloïde gauche		24*15*11
30	1	ramassage	trapézoïde gauche		24*20*15
31	1	ramassage	54 MTT 1 droit		60*19*29
32	1	ramassage	MTT 2 gauche		71*14*20
50	1		49 fragment os pariétal	crête osseuse = ligne temporale ?	67*51*7
51	1		48 fragment os temporal gauche	immature ? ou adulte gracile ?	61*53*27
52	1		115 fragment os pariétal		56*45*8
91	1		50 entre 7e et 11e vertèbre thoracique		62*49*52
97	1		calcanéus droit		74*40*30
127	1	?2	phalange proximale pied		27*12*12
130	1		phalange moyenne main		26*13*10

N° Yonsei	Abri	Couche	N° Sohn	détermination	mesures 1 (AV)	MD	BL	MD	BL	usure (Molnar)
Couche 5										
79	1	1		I2 inf gauche	bord incisif complet	5,57	5,7	5.54	5.7	1
54	1	5	351	M1 inf droite	croissance rac hypoconulide	12,5	10,3	12.47	9.9	1
55	1	5	352	M2 inf gauche	canal radicular	10,9	9,7	10.81	9.8	2
56	1	5	324	P3 sup gauche		7,62	9,25	7.49	9.64	1
57	1	5	323	C inf droite		8,47	9,1	8.28	9.17	3
58	1	5	346	I2 sup gauche		6,8	6,2	6.6	6.2	3
60	1	5	336	P4 inf droite		7	8,3	7	8.1	4
61	1	5	341	P4 inf droite		7,47	8,85	7.52	8.85	3
63	1	5	334	P4 inf gauche		7,42	8,16	7.49	8.14	3-4
64	1	5	325	M3 sup gauche		7,5	9,5	7.35	9.46	3
65	1	5	330	P4 inf droite		7,24	8,36	7.30	8.17	3
66	1	5	53	I2 sup gauche		6,86	6	6.84	5.92	2
67	1	5	339	I2 inf gauche		4,79	6,85	4.70	6.89	4
68	1	5	328	P3 sup gauche		6,62	9,5	6.68	9.49	5
69	1	5	319	M1 sup droite	en cours de cr tubercule de c	10.8	11.6	10.74	11.8	1
70	1	5	332	I1 sup droite	usure forte appariée avec	8,1	9	8.2	8.6	4-5
71	1	5	322	C sup gauche	usure et écrasement	7,49	8,5	7.46	8.42	3
72	1	5	327	P4 sup droite	usure (rainure) sous le collet	6,38	8,56	6.37	8.47	4-5
73	1	5	337	I2 sup droite	usure	7,11	6,28	7.05	6.35	2
74	1	5	329	I1 sup gauche	usure forte cr appariée avec	8,2	8,99	8.1	8.96	4-5
75	1	5	340	I2 inf gauche	usure forte	5.78	7,43	5.57	7.52	6
76	1	5	333	I2 sup gauche	usure	6,55	5,74	6.48	5.96	4
77	1	5	345	C inf droite	croissance racine non achev	6,87	6,44	6.78	6.41	1
78	1	5	343	I2 sup droite		6,8	6,8	6.7	6.7	4
80	1	5	389	C déciduale su	immature	5,8	6	6,21	5,34	2
83	1	5	321	C sup gauche		7	8,76	7.12	8.95	4
84	1	5	338	I1 sup gauche	usure	8,29	6,88	8.16	6.76	3
85	1	5	335	I1 sup gauche		8,95	7,72	8.86	7.63	2
86	1	5	331	I1 sup droite		7,97	6,58	7.91	6.69	2
87	1	5	342	I1 sup droite		8,61	7,6	8.55	7.44	1
88	1	5	348	I1 inf gauche		5,38	5,84	5.17	5.84	3
Sans N° de couche										
59	1	?	52	P4 sup gauche	concrétion	6,76	9,8	6.58	9.8	3
62	1	?	351	I2 inf droite		6,4	6,85	6.55	6.9	3-4
82	1	?	?	I1 sup droite		7,65	7,08	7.53	7.08	2
81	1	ramassage	?	M2 inf gauche	canal radicular	10,56	10,35	10.56	10.26	5

< Tableau 12> Caractéristiques des spécimens de comparaison (Zone géographique, datation, nature du matériel, références) – Abréviations : Pléistocène inférieur et moyen (P.i et m), Pléistocène moyen (P.m), Pléistocène supérieur (P.s), *Homo neanderthalensis* (N), *Homo sapiens* actuels (H.S)

Nom	Datation	Zone géographique	Nature du matériel	Références
<i>Homo sapiens</i> archaïque		Afrique et Eurasie	Moyenne	Demeter et <i>al.</i> (2015)
<i>Homo sapiens</i> actuels		Asie de l’Est		
<i>Homo sapiens</i> actuels		Eurasie occidentale		
Pleistocène inférieur et moyen				

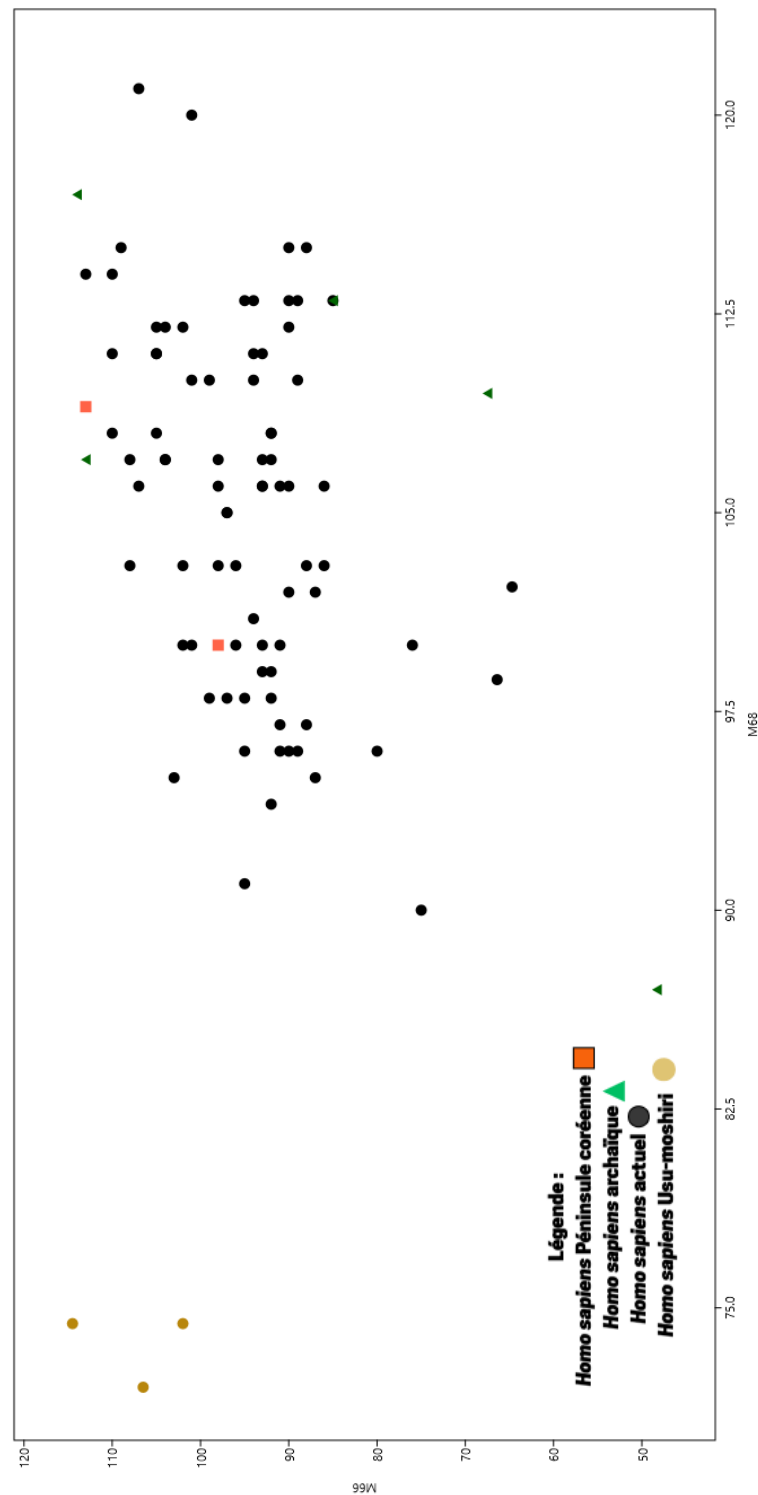
ZKD G1	P.i et m	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
ZKD H1	P.i et m	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
ZKD K1	P.i et m	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
ZKD PA86	P.i et m	Chine	fossile	Wu et al. (2023)
Pleistocène moyen				
Tighenif 1	700 ka	Algérie	moulage	Wu et al. (2023)
Tighenif 3	700 ka	Algérie	moulage	Wu et al. (2023)
KNM-BK 67	512–510 ka	Kenya	fossile	Zanolli et al. (2023)
KNM-BK 8518		Kenya	fossile	Hublin and Tillier (1988) ; Zanolli et al. (2023)
Jebel Irhoud 11	315 ± 34 ka	Maroc	fossile	Hublin et Tillier (1988) ; Richter et al. (2017)
Montmaurin	190–240 ka	France	fossile	Vialet et al. (2018)
Penghu 1	130-190 ka 10-70 ka	Taïwan	fossile	Tsutaya et al., (2025)
Xiahe	160 ka	Chine	fossile	Chen et al. (2019)
AT-300	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-505	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-605	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-607	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-792	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-888	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
AT-950	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
Ehringsdorf F	P.m	Allemagne	moulage	Wu et al. (2023)
AT-1	P.m	France	fossile	Minugh-Purvis (1988)
AT-250	P.m	France	fossile	Minugh-Purvis (1988)
AT-1775	P.m	France	fossile	Minugh-Purvis (1988)
Pleistocène supérieur				
Qafzeh 7	P.s	Israël	moulage	Wu et al. (2023)
Qafzeh 15	P.s	Israël	fossile	Tillier (1984)
Tianyuan 1	P.s	Chine	fossile	Hong et al. (2007)
Zhirendong	P.s	Chine	fossile	Wu et al. (2023)

Tianyuandong	P.s	Chine	fossile	Wu et al. (2023)
Uper Cave 104	P.s	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
Uper Cave 108	P.s	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
Uper Cave 109	P.s	Chine	moulage	Wu et al. (2023)
Minatogawa 1	P.s	Japon	fossile	Kaifu et al. (2011)
WLH 3	P.s	Australie	moulage	Wu et al. (2023)
Border Cave 2	P.s	Afrique du Sud	moulage	Wu et al. (2023)
Border Cave 5	P.s	Afrique du Sud	moulage	Wu et al. (2023)
Klasies River Mouth 14695	P.s	Afrique du Sud	moulage	Wu et al. (2023)
Klasies River Mouth 21776	P.s	Afrique du Sud	moulage	Wu et al. (2023)
Klasies River Mouth 41815	P.s	Afrique du Sud	moulage	Wu et al. (2023)
Mumba	P.s	Tanzanie	moulage	Wu et al. (2023)
Abri Pataud	P.s	France	moulage	Wu et al. (2023)
Brno 3	P.s	République tchèque	moulage	Wu et al. (2023)
Cro-Magnon 3	P.s	France	moulage	Wu et al. (2023)
Oase 1	P.s	Roumanie	moulage	Wu et al. (2023)
Oberkassel 1	P.s	Allemagne	moulage	Wu et al. (2023)
Oberkassel 2	P.s	Allemagne	moulage	Wu et al. (2023)
Oberkassel 3	P.s	Allemagne	moulage	Wu et al. (2023)
Predmost 3	P.s	République tchèque	moulage	Wu et al. (2023)
Sungir 3	P.s	Russie	fossile	Quam et al. (2001)
<i>Homo neanderthalensis</i>				
Spy I	36-40 ka	Belgique	moulage	Semal et al. (2013)
Krapina H	120-130 ka	Croatie	moulage	Wu et al. (2023)
Krapina J	120-130 ka	Croatie	moulage	Wu et al. (2023)
Krapina G	120-130 ka	Croatie	fossile	Wolpoff (1979)
La Ferrassie	60 ka	France	moulage	Wu et al. (2023)
La Quina 5	60 ka	France	moulage	Wu et al. (2023)
La Quina 9	60 ka	France	moulage	Wu et al. (2023)
Circeo 3	50-60 ka	Italie	moulage	Wu et al. (2023)

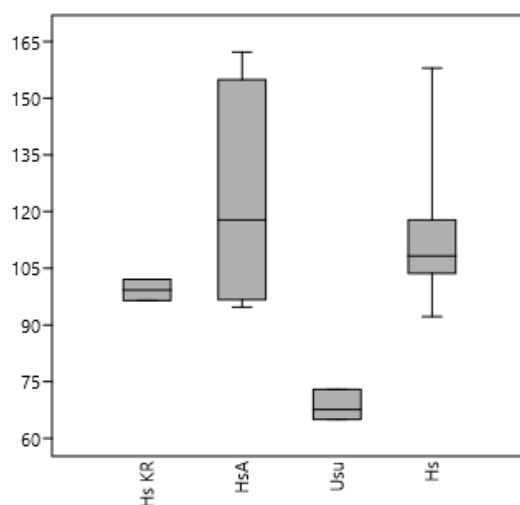
Regourdou	P.m	France	moulage	Wu et al. (2023)
Zafarraya 2	40-50 ka	Espagne	moulage	Wu et al. (2023)
Vindija 206	40 ka	Croatie	moulage	Wu et al. (2023)
Vindija 226	40 ka	Croatie	moulage	Wu et al. (2023)
Vindija 231	40 ka	Croatie	moulage	Wu et al. (2023)
Tabun 2	50-60 ka	Israël	moulage	Wu et al. (2023)
Saint-Césaire 1	40 ka	France	moulage	Wu et al. (2023)
Kebara 2	60 ka	Israël	moulage	Wu et al. (2023)
Gibraltar 1	40 ka	Gibraltar	moulage	Wu et al. (2023)
Gibraltar 2	40 ka	Gibraltar	moulage	Wu et al. (2023)
Subalyuk 1	50-60 ka	Hongrie	moulage	Wu et al. (2023)
Shanidar 1	50-60 ka	Irak	moulage	Wu et al. (2023)
Shanidar 4	50-60 ka	Irak	moulage	Wu et al. (2023)
<i>Homo sapiens actuels</i>				
Datong	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
Heilongjiang	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 256	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 279	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 271	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 305	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 273	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 274	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 320	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 355	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
CO 191	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
1345	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 260	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 261	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 268	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 297	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 309	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)

YNO 311	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 341	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)
YNO 343	H.S	Chine	Fossile	Wu et al. (2023)

< Figure 23 > Représentation bivariée de la longueur mandibulaire (M68) en ordonnée et de la largeur bigoniaque (M69) en abscisse pour l'ensemble des spécimens



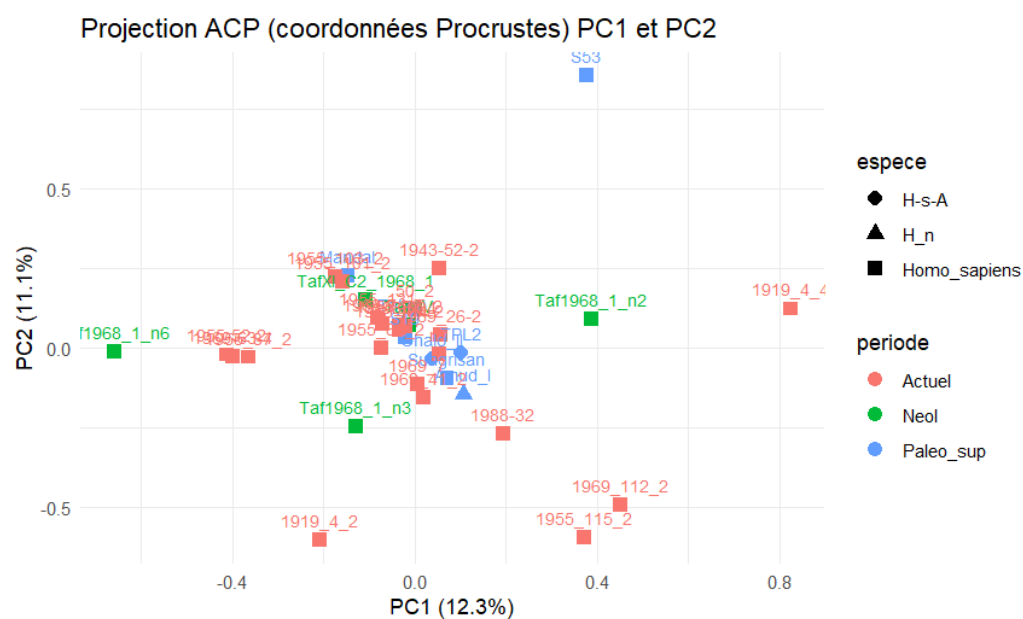
< Figure 24 > Distribution de l'indice longueur mandibulaire / largeur bigoniaque selon les groupes étudiés : *Homo sapiens* coréens (Hs KR), *Homo sapiens* archaïques (HsA), spécimens d'Usu Moshiri (Usu), et *Homo sapiens* actuels (Hs).



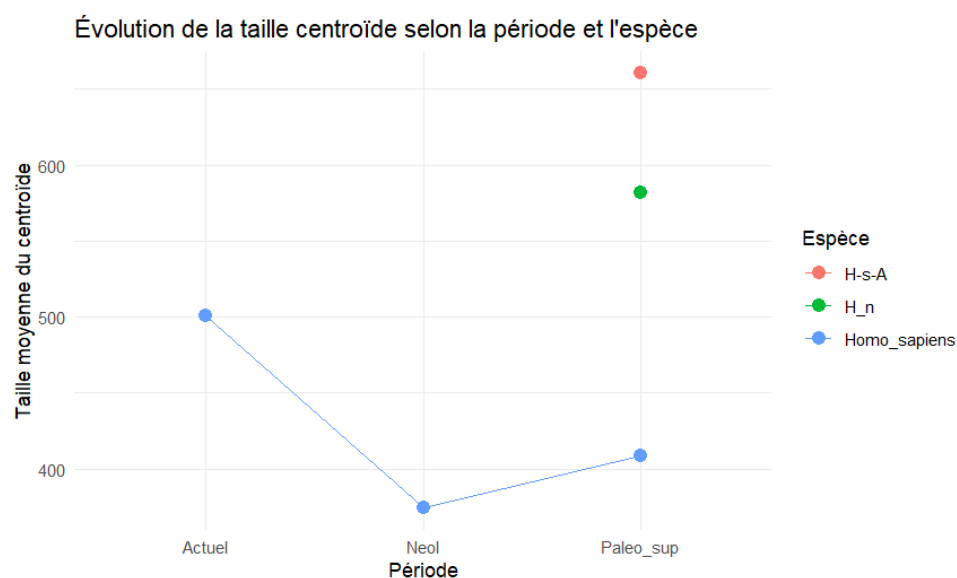
< Tableau 13 > Numéro et identifiant des spécimens étudiés en morphométrie géométrique 3D

Numéro	Identifiant	Période	Numéro	Identifiant	Période
1	Tabun	Paleo_sup	21	1919_4_2	Actuel
2	Amud_I	Paleo_sup	22	1955_115_2	Actuel
3	Ohalo_II	Paleo_sup	23	1955-52-2	Actuel
4	TPL2	Paleo_sup	24	1955_76_2	Actuel
5	Mandal	Paleo_sup	25	1988-32	Actuel
6	Sungrisan	Paleo_sup	26	1988-34	Actuel
7	S19	Paleo_sup	27	50_2	Actuel
8	S53	Paleo_sup	28	1955_131	Actuel
9	Taf1968_1_n2	Néolithique	29	1969_7	Actuel
10	Taf1968_1_n3	Néolithique	30	1955-114-2	Actuel
11	Taf1968_1_n6	Néolithique	31	n7	Actuel
12	TafXI_C2_1968_1	Néolithique	32	1943-52-2	Actuel
13	TafXIV	Néolithique	33	1969-63-4	Actuel
14	1969_112_2	Actuel	34	1969-74-3	Actuel
15	1955_101_2	Actuel	35	1955_86_2	Actuel
16	1955_103_2	Actuel			
17	1969_26-2	Actuel			
18	1969_41_2	Actuel			
19	1919_4_4	Actuel			
20	1955_87_2	Actuel			

< Figure 25 > Projection des individus selon les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) basée sur les coordonnées Procrustes.



< Figure 26 > Evolution taille centroïde selon période et espèce



Résumé, Abstract et 국문초록

Résumé

Cette étude explore la diversité morphologique et métrique des mandibules humaines fossiles de la péninsule coréenne, jusqu'ici peu documentées. Le matériel d'étude comprend des mandibules provenant du site de Sangsi, situé dans le sud de la péninsule coréenne, ainsi que de Mandal et Sungrisan, situés dans au nord. Pour analyser ces spécimens, un corpus comparatif a été constitué, rassemblant des mandibules d'*Homo sapiens* actuels, d'*Homo sapiens* archaïques et d'*Homo neanderthalensis*, ainsi que le modèle 3D de TPL2, complété par des données métriques issues de la littérature scientifique couvrant le Pléistocène moyen à nos jours. Des sources écrites inédites en coréen ont également été mobilisées. L'analyse combine des approches morphométriques traditionnelles 2D ainsi que géométrie 3D. Les résultats révèlent que la mandibule de Sangsi 19 présente une morphologie intermédiaire, mêlant gracilité et robustesse modérée, le rapprochant d'*Homo sapiens* archaïques, avec quelques affinités avec les formes actuelles. Sangsi 20 est plus massif, avec des traits robustes marqués, proches de ceux observés chez les *Homo sapiens* archaïques. Sangsi 53 occupe une position intermédiaire, avec une gracilité générale mais conservant certains caractères archaïques, le plaçant entre *Homo sapiens* archaïques et actuels. Mandal quant à lui, est particulièrement robuste, le rapprochant des *Homo sapiens* archaïques et des Néandertaliens. En revanche, Sungrisan a une morphologie gracile, proche des *Homo sapiens* actuels, mais conserve certains traits ayant une influence néandertalienne. Les mandibules coréennes présentent une mosaïque de traits archaïques et actuels, caractéristique d'une évolution non linéaire et mosaïque. La diversité régionale observée confirme le rôle de la péninsule coréenne comme carrefour évolutif, à la croisée des influences est-asiatiques et eurasiatiques.

Mots clés : Mandibule, Péninsule coréenne, Hominines, Pleistocène, Morphométrie 2D et 3D

Abstract

This study investigates the morphological and metric diversity of fossil human mandibles from the Korean Peninsula, a region that remains poorly documented. The study material includes mandibles from Sangsi, Mandal and Sungrisan. For comparative purposes, a reference corpus was established comprising mandibles of modern *Homo sapiens*, archaic *Homo sapiens*, and *Homo neanderthalensis*, along with the 3D model of specimen TPL2, and metric data gathered from the literature covering the Middle Pleistocene to the present. Written sources in Korean

language were also utilized. The analysis employs both traditional 2D morphometrics and geometric 3D approaches. The results show that the Sangsi 19 mandible exhibits an intermediate morphology, blending moderate robustness and gracility, aligning it with archaic *Homo sapiens* while also showing some affinities with modern forms. Sangsi 20 is more robust, characterized by pronounced archaic traits. Sangsi 53 occupies an intermediate morphometric position, exhibiting general gracility but retaining several archaic characteristics, placing it between archaic and modern *Homo sapiens*. Mandal's mandible is notably robust, resembling both archaic *Homo sapiens* and *Homo neanderthalensis*. In contrast, Sungri-san displays a gracile morphology close to actual *Homo sapiens*, preserves certain features indicative of Neanderthal influence. These findings highlight a mosaic pattern of traits, confirming the Korean Peninsula's role as an evolutionary crossroads between East Asia and Eurasia.

Keywords: Mandible, Korean Peninsula, Hominins, Pleistocene, 2D and 3D Morphometrics

국문초록

본 연구는 지금까지 충분히 밝혀지지 않았던 한반도 고인류 아래턱뼈의 계량 형태학적 다양성을 탐구한다. 연구 대상은 한반도 남부의 상시 유적지와 북부의 만달 및 승리산에서 출토된 아래턱뼈이다. 분석을 위해 현대 및 고대 호모 사피엔스, 네안데르탈인의 아래턱뼈를 포함한 비교 자료군이 구성되었으며, TPL2 표본의 3D 모델과 중기 플라이스토세부터 현대까지의 문헌 기반 계측 자료도 포함되었다. 또한 외국에서 활용 되지 않았던 한반도의 문헌도 연구에 썼다. 분석 방법으로는 2D-3D 형태 및 계측 분석을 병행하였다. 연구 결과, 상시 19는 고대 호모 사피엔스와 유사하면서도 현대형 특성을 일부 지닌 중간적 형태를 보여주었고, 이는 중등도 강건성과 섬세함이 동시에 드러난다. 상시 20은 더 강건한 형태로 고대형 특성이 두드러졌다. 상시 53는 전반적으로 섬세한 형태를 유지하되, 일부 고대 특성도 보유한 중간형으로 나타났다. 만달은 매우 강건하여 고대 호모 사피엔스와 네안데르탈인과 유사하다. 반면 승리산은 현대 호모 사피엔스와 유사한 섬세한 형태를 보이지만, 네안데르탈인의 영향을 시사하는 일부 특성을 유지한다. 이러한 결과는 고인류 아래턱뼈가 고대적 및 현대적 특성의 혼합으로 구성되어 있음을 나타내며, 이는 선형적이지 않은 모자이크적 진화 모델과 일치한다. 지역적 다양성은 한반도가 동아시아와 유라시아 영향이 교차하는 진화적 교차로로서의 역할을 강조한다.

주제어: 아래턱뼈, 한반도, 호미닌, 구석기시대, 2D 및 3D 형태 및 계측