

# Structures crâniennes internes de l'*Homo erectus* Sambungmacan 1 (Java, Indonésie)

Antoine Balzeau<sup>a\*</sup>, Teuku Jacob<sup>b</sup>, Etty Indriati<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de préhistoire du Muséum national d'histoire naturelle, laboratoire d'anthropologie de l'université de la Méditerranée, UMR 6569 du CNRS, Institut de paléontologie humaine, 1, rue René-Panhard, 75013 Paris, France

<sup>b</sup> Laboratory of Bioanthropology and Paleoanthropology, Faculty of Medicine, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia

Reçu le 20 octobre 2002 ; accepté le 22 octobre 2002

Présenté par Yves Coppens

---

**Abstract – Internal cranial structures of the Sambungmacan 1 *Homo erectus* (Java, Indonesia).** The Sambungmacan 1 fossil (Java, Indonesia) is assigned to the *Homo erectus* group. The carbonated matrix contained in this calvaria prevents the analysis of the internal surface. The CT data of the original fossil enables us to observe the conservation and mineralization state and the internal structures. Furthermore, we use the CT data to reconstruct the endocast, which shows that the morphological character of Sambungmacan 1 is close to the Ngandong hominids. *To cite this article: A. Balzeau et al., C. R. Palevol 1 (2002) 305–310.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

*Homo erectus* / endocast / matrix / Sambungmacan / Indonesia / Computed Tomography (CT)

**Résumé –** Le fossile Sambungmacan 1 (Java, Indonésie), attribué aux *Homo erectus*, est une calotte crânienne pour laquelle la présence d'une matrice carbonatée empêchait tout accès à la surface interne. À partir des données scannographiques du fossile original, nous avons pu observer son état de conservation et de minéralisation ainsi que ses structures internes, et effectuer une reconstitution de l'endocrâne, dont les caractères morphologiques le rapprochent des hominidés de Ngandong. *Pour citer cet article : A. Balzeau et al., C. R. Palevol 1 (2002) 305–310.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

*Homo erectus* / endocrâne / matrice / Sambungmacan / Indonésie / scannographie (CT)

---

## Abridged version

### 1. Introduction

The Sambungmacan 1 fossil was found in Java, Indonesia [13, 14] (Fig. 1). It is a calvaria, filled with sediment, belonging to the latest representatives of the *Homo erectus* group [11, 17, 18, 20]. Our purpose here is to observe this fossil from a new angle by using Computed Tomography. Over the past 20 years, the medical imaging method known as CT has been applied to the palaeoanthropological research. While several scholars have shown interest in endocast reconstruction of fossil hominids by means of CT [2, 4], they mainly have done so with the objective of calculating endocranial capacity. Cranial capacity is assessable even

when the fossil is filled with sediment [5, 6, 16] or when it is deformed or even incomplete [7, 8]. Indeed, data processing allows to virtually remove the matrix contained in a fossil and also to restore it virtually or by moulding the specimen to obtain a reconstruction of its endocast [3, 9, 10, 15, 19, 21, 22].

We present here all the internal cranial characteristics of Sambungmacan 1 that were previously inaccessible, such as frontal sinuses, the osseous tables, the internal ear, the internal conservation state, deformations and mineralisation, and the first endocast reconstitution of Sambungmacan 1.

### 2. Material and methods

The series of CT cuts, parallel and equidistant, corresponding to the original fossil, were carried out at the Radiology

---

\*Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : abalzeau@voila.fr (A. Balzeau).

Department of the Hospital Saint-Louis in Paris by Prof. de Kerviler in April 1999. The cuts were set 2.7-mm thick and the pixels measured 0.49 mm by 0.49 mm.

The treatment of the data acquired and the study have been made with Mimics 6.3 and Magics 6.1 software. The process of reconstruction of the endocast was delicate, with the skull full of sediment. The limits were defined while varying the threshold values when the separation does not clearly appear between the different components of the picture on every cut.

### 3. Results and discussion

The attenuation coefficients measured on Sambungmacan 1 are globally quite elevated; they are on average superior to 2000 Hounsfield units [22]. The sediments that it contains present attenuation values similar to those of the fossil (Fig. 2). This continuity inside the mineralised bone and between the fossil and the sediments with regard to these values, and therefore the strong mineralisation of the whole explain the bad conservation of the internal structure of the bone. We cannot observe structures that can be used for interpretation, like those corresponding to the diploe or to the internal and external bony tables.

On the two dimensional pictures, it appears that the frontal sinuses are very underdeveloped on Sambungmacan 1, but their extension could have been reduced during the fossilisation processes because of the presence of fluids and of sediment deposit.

The temporal petrous parts of Sambungmacan 1 are incomplete and very strongly mineralised; some sediments entered the bony structures. Whereas the *meatus acusticus externus* and the *meatus acusticus internus* are present, the semicircular canals are not preserved.

A crack of twenty millimetres spreads vertically above the break of left the frontal bone. It passes through the entire bone and propagates itself in the mineralised sediment. The skull underwent at least two sets of constraints that influenced its original morphology. The missing parts of the basis and the face would have been broken early in the individual's post-mortem history, whereas some of the fractures would have formed during the fossilisation processes.

CT data allow us to have access to the endocast of Sambungmacan 1 for the first time [1]. The reconstitution results in irregular surface marks. This is due to the method used because the sediments and bony structures sometimes present locally identical attenuation coefficients. Therefore, these imperfections result also from the technical limits of CT imagery and especially from the conservation state of the fossil. It seems that the fossilisation processes and the presence of the sediments (Fig. 2) did not permit the perfect conservation of the endocranial surface; many internal morphological characters are not discernible. Thus, the thickness of our CT data cuts, close to 3 mm, becomes important, as they allow us to get all possible information on the endocast morphology. A second study of the fossil was carried out in 2002 using different parameters, the cuts being spaced of 1 mm. It did not lead to any more precise elements on the endocranial cavity.

The assessment of the volume of the partial endocast results in a measurement of 1100 cm<sup>3</sup>, but this should be considered as estimation. Indeed, two factors could influence the internal measurements of this fossil and we cannot value their importance precisely. Because of the incompleteness of the skull, our reconstitution might yield a volume lower than the original cranial capacity, but conversely the erosion of the internal bony surface by the sediments may entail an increase of the volume. This value, quite important for a *Homo erectus*, falls within the normal range of the Ngandong individuals, which is between 1050 and 1200 cm<sup>3</sup> [12].

Prints corresponding to the vascularisation of the *endocranium* are very badly preserved on the endocast of Sambungmacan 1. The print of the *sinus sagittalis superior* is attenuated and only visible at the level of the occipital lobes and spreads on the right lateral sinus. The *sulcus sagittalis* forms on the *endocranium* a very deep and large depression; this is only obvious in the anterior region of the frontal lobes. Very clearly marked in this previous zone, it disappears suddenly and the two hemispheres are then coupled on the posterior region of the frontal lobes and at the level of the parietal lobes. Occipital lobes are distinctly differentiated by the *sulcus sagittalis*. The internal occipital protuberance leaves a large and superficial print, but the depression separating the cerebellar lobes is deeper. On the two hemispheres, a light posterior depression to the frontal lobes spreads vertically – this would be the *sulcus centralis* according to its position, but the conservation state of the endocranial surface does not permit us to exclude the possibility that it could be a defect. The *sulcus lateralis* is not clearly definable on the right hemisphere, but corresponds to a vast depression. On the left, the *sulcus lateralis* is not preserved anteriorly, but continues by a diffuse tracing oriented toward the superior part of the occipital lobes. The Sylvius valley is large. A light print is observable forward of the occipital lobes, which would be the perpendicular fissure. The transition between occipital and cerebellar lobes is only slightly marked, but the cerebellum is well individualised from the occipital lobes. The cerebellar lobes are not prominent and stand under the occipital lobes in lateral view. These lobes are separated by a vast and relatively deep depression. In postero-superior view, the right occipital lobe is placed behind the left lobe; in lateral view as well as in occipital view, the occipital lobes are not prominent and are located behind the temporal and parietal lobes. The position of the occipital and cerebellar lobes corresponds to an archaic scheme in the cerebral evolution toward the modern man [12]. This endocast presents a general characterised morphology of the *Homo erectus* group and is similar to the endocasts of the Ngandong hominids [2]: for example, the occipital and cerebellar lobes position, the size and the relative development of the different lobes.

### 4. Conclusion

The major benefit of the application of the CT to the study of fossils is to allow us to access their internal structures while maintaining their structural integrity. From the 2D CT data of the Sambungmacan 1 original fossil, we reconstituted

some 3D pictures of its skull and its endocast and observed the conservation and mineralisation states of this fossil and its internal structures.

The fracturation state and the extension of the cracks permit a better understanding of the deformation and therefore helps to distinguish the anatomical character of an artefact. Sambungmacan 1 shows a deterioration of the bony partitions and a strong mineralisation of the bony structures. The fossilisation processes altered the internal bony structures, the variations of density observed seem thus to be bound by the constraints that this skull underwent during the diagenetic processes rather than by the original disposition of the bony tables and of the diploe. The presence of the sediments affected the semicircular canals morphology, which

are missing, and the frontal sinuses, whose original extension is no more visible.

It also appears that beyond the technical limits of the methods used here, the conservation of the fossil remained the most important limiting factor for an anthropological study by these processes. More precise data than those that we arranged would not have permitted to get more information about the endocranial morphology of this fossil. Thus, our reconstitution of the Sambungmacan 1 endocast reveals all data kept on the internal surface of the skull. Finally, it shows features that suggest a closer relationship to the Ngandong hominid endocasts, among these an important cranial capacity, the parietal and temporal lobe development, and the morphology of the temporo-cerebellar area.

## 1. Introduction

Le fossile Sambungmacan 1, une calvaria remplie de sédiment (Fig. 1), a été trouvé en 1973, lors du creusement du canal le long de la rivière Solo, sur l'île de Java [13, 14]. Cet individu est rapproché des hominidés de Ngandong, avec lesquels il partage un ensemble de traits archaïques et modernes [20]. En effet, ces hominidés présentent certaines spécificités des *Homo erectus* (le torus supra-orbitaire est continu et horizontal en vue antérieure, la largeur maximale du crâne est basse, un torus occipital est présent...), mais d'autres caractères les différencient de leurs prédécesseurs, comme la hauteur plus importante de la voûte, la capacité crânienne plus élevée ou l'élargissement de la partie antérieure des pariétaux. Ainsi, ils sont considérés comme une forme évoluée de ce groupe [11, 17], dont ils pourraient être les derniers représentants [18], puisque les datations obtenues par RPE et U–Th sur des dents de grands mammifères placent ces hominidés dans un domaine d'âge compris entre 27 et 53 000 ans.

Notre but est d'observer, grâce à la scannographie, les caractéristiques crâniennes internes de Sambungmacan 1 et de reconstituer son endocrâne. Dès les débuts de l'application de la scannographie à la paléanthropologie, il y a une vingtaine d'années, certains auteurs se sont intéressés à la reconstitution de l'endocrâne d'hominidés fossiles [5], avec pour objectif principal le calcul de la capacité cérébrale, qui peut, en effet, être estimée, même si la pièce est remplie de sédiment [6, 16], déformée ou incomplète [7, 8]. Le traitement des données informatiques permet d'enlever virtuellement la matrice contenue dans un crâne et donc d'obtenir une reconstitution de son endocrâne [3, 4, 9, 10, 15, 19, 21, 22].

Nous présentons ici des informations crâniennes internes inaccessibles avant cette étude, concernant la morphologie de l'endocrâne, les sinus, les tables osseu-

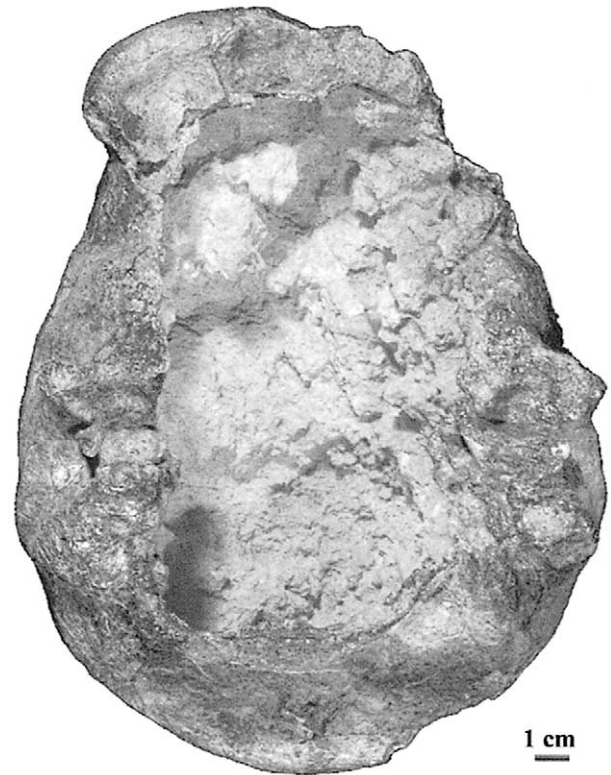


Fig. 1. Photographie du fossile Sambungmacan 1 en vue inférieure (d'après F. Détroit) et du sédiment qui recouvre toute sa surface interne et comble les cavités sinusales frontales.

Fig. 1. Photograph of the fossil Sambungmacan 1 in lower view (from F. Détroit) and the sediment that covers its internal surface and fills the frontal sinusal cavities.

ses, les structures de l'oreille interne, l'état de conservation interne, l'état de déformation ou de minéralisation de Sambungmacan 1.

## 2. Matériel et méthodes

Nous disposons d'une série d'images scannographiques, parallèles et équidistantes, correspondant au fos-

sile original. Celui-ci a été scanné dans le service de radiologie de l'hôpital Saint-Louis à Paris par le professeur de Kerviler, en avril 1999. Les coupes mesurent 2,7 mm d'épaisseur et les pixels 0,49 mm de côté.

Les composants élémentaires, ou pixels, des images en deux dimensions sont définis par une valeur d'atténuation du tissu qu'ils contiennent et sont représentés par une valeur de gris comprise entre 0 et 256. La première étape du traitement des données consiste à déterminer la largeur et le niveau de la fenêtre d'étude. En effet, il n'est pas utile de conserver des valeurs d'atténuation qui ne correspondent à aucun tissu sur le fossile étudié. Moins la fenêtre sera étendue, plus la définition augmentera et les différences entre les tissus inclus dans cet intervalle seront claires. Puis il est nécessaire de dissocier le fossile de l'air qui l'entoure, d'une part, et de la matrice qu'il contient, d'autre part ; la séparation est faite par segmentation. Les différents tissus présentant des valeurs d'atténuation distinctes, la détermination d'une limite inférieure ou supérieure, des deux si besoin est, implique que les éléments dont la densité est moindre ou plus élevée que les seuils choisis seront exclus de la région d'intérêt.

Nous avons appliqué ces méthodes aux images en deux dimensions de Sambungmacan 1 pour restituer les limites de son endocrâne. Le traitement de ces données et leur étude ont été réalisés avec les logiciels Mimics 6.3 et Magics 6.1. L'obtention de l'endocrâne est délicate, la difficulté provenant du fait que les valeurs d'atténuation de la matrice peuvent égaler ou même dépasser localement celles du fossile (Fig. 2). Il n'est donc pas possible de faire une segmentation globale, car aucune valeur ne permettrait une séparation entre os et matrice sur l'ensemble des données. L'air est isolé en déterminant une valeur inférieure, qui correspond à la valeur médiane entre les coefficients d'atténuation de l'air et du fossile, puis le sédiment, en effectuant des segmentations locales. Les limites de l'endocrâne sont définies sur chaque coupe, en faisant varier les valeurs des réglages utilisés dès que la séparation n'apparaît pas clairement entre les différents composants de l'image.

### 3. Résultats et discussion

Les coefficients d'atténuation mesurés sont globalement élevés, ils sont en moyenne supérieurs à 2000 unités Hounsfield [22] et la matrice présente des valeurs d'atténuation semblables à celles du fossile. Il existe des régions osseuses pour lesquelles les valeurs des coefficients d'absorption sont plus faibles ; ce phénomène de minéralisation moins importante reste localisé dans la région postéro-inférieure des pariétaux, où les parois osseuses sont les plus épaisses.

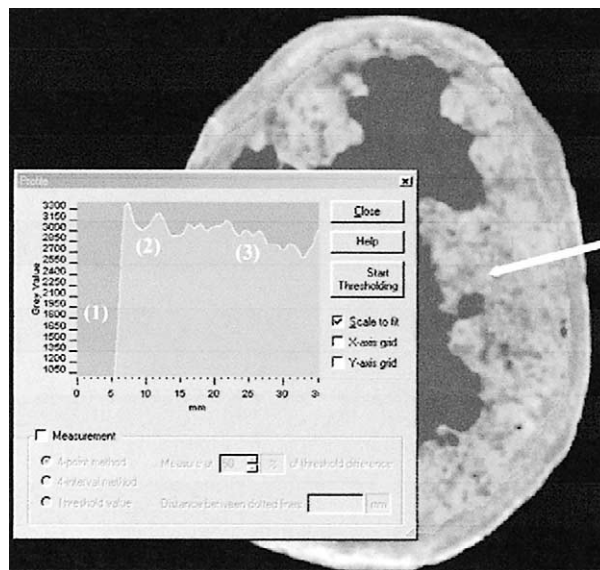


Fig. 2. Image CT longitudinale en deux dimensions de Sambungmacan 1. Le profil des coefficients d'atténuation à gauche correspond à la flèche blanche, les valeurs d'absorption sont homogènes entre le fossile et sa matrice. 1. Air. 2. Fossile. 3. Sédiment.

Fig. 2. Longitudinal CT cut of Sambungmacan 1. On the left, the attenuation values profile corresponds to the white arrow; values of absorption are homogeneous between the fossil and its matrix. 1. Air. 2. Fossil. 3. Sediment.

Nous avons essayé de reconnaître les structures internes de l'os au niveau de la voûte crânienne, qui peuvent, sur un fossile, être plus ou moins influencées par les processus diagénétiques ; les tables osseuses et le diploë ne sont pas toujours préservés selon leur forme originelle. La mauvaise conservation des structures osseuses internes sur Sambungmacan 1 est exprimée par la continuité des valeurs d'absorption à l'intérieur de l'os minéralisé, d'une part, et entre le fossile et le sédiment, d'autre part (Fig. 2). De ce fait, nous n'avons pas pu dissocier de structure qui pourrait être interprétée comme correspondant au diploë ou aux tables osseuses interne et externe.

Les régions du torus *supraorbitalis* où se situent les sinus frontaux sont incomplètement conservées et la structure osseuse semble avoir été affectée dans ses parties les moins denses. Des cavités apparaissent aléatoirement, comme si cette superstructure avait été rendue poreuse par le passage de fluides, puis comblée par du sédiment. Ainsi, le torus semble fortement ossifié, mais l'extension des sinus a pu être réduite lors des processus de fossilisation.

Les parties pétreuses sont fragmentaires et très fortement minéralisées, du sédiment y a pénétré. Ainsi, bien que le *meatus acusticus externus* et le *meatus acusticus internus* soient présents, aucune des structu-

res internes de l'oreille, et en particulier les canaux semi-circulaires, n'a été préservée.

Une fissure s'étend verticalement sur 20 mm au-dessus de la cassure de la partie gauche de l'os frontal. Elle traverse toute l'épaisseur de l'os et se propage dans la matrice. Le crâne a donc subi au moins deux séries de contraintes, qui ont influencé sa morphologie originelle ; les parties manquantes de la base et de la face auraient été brisées précocement dans l'histoire post-mortem de l'individu, alors que certaines fractures se seraient formées lors des processus de fossilisation.

Nous avons pu isoler virtuellement la matrice contenue dans ce fossile. Le sédiment représente un volume d'environ 462 cm<sup>3</sup>, ses contours suivent précisément ceux de la calvaria, qu'il remplit sur la presque totalité de la surface interne conservée (Fig. 1).

Enfin, la scannographie nous permet d'avoir accès pour la première fois à l'encéphale de Sambungmacan 1 [1]. La reconstitution de l'endocrâne que nous obtenons présente sur sa surface des irrégularités. Elles sont en partie liées à la méthode utilisée lorsque le sédiment et les parois osseuses ont localement des coefficients d'atténuation identiques, aux limites techniques de la scannographie et des méthodes d'imagerie et, surtout, à l'état de conservation du fossile, qui semble être le facteur le plus important. Il apparaît que les processus de fossilisation et la présence de sédiment ont altéré la surface interne du crâne, effaçant de nombreux caractères morphologiques internes. Ainsi, bien que l'épaisseur des coupes CT soit importante, près de 3 mm, toutes les informations qu'il était possible d'obtenir sur la morphologie de l'endocrâne l'ont été. Des données plus fines n'auraient pas apporté d'éléments plus précis, l'homogénéité des coefficients d'atténuation rendant impossible une délimitation plus nette de l'interface entre le crâne et l'endocrâne sur ces coupes supplémentaires. Ceci a été confirmé par une seconde acquisition, effectuée en 2002 avec des coupes espacées de 1 mm, qui n'a pas permis d'approfondir l'étude anthropologique.

L'évaluation du volume de la reconstitution partielle de l'endocrâne que nous obtenons est de 1100 cm<sup>3</sup>. Elle ne doit, bien sûr, être considérée que comme un ordre de grandeur. En effet, deux facteurs ont influencé les dimensions internes de ce fossile, dont nous ne pouvons évaluer précisément l'importance. Le crâne étant incomplet, notre reconstitution devrait former un volume inférieur à la capacité crânienne originelle de l'individu, mais l'érosion de la surface osseuse interne par le sédiment contenu dans cette calotte crânienne a entraîné une augmentation certaine de ce volume. L'évaluation globale obtenue sur Sambungmacan 1,

assez élevée pour un *Homo erectus*, entre dans la variation des individus de Ngandong, comprise entre 1050 et 1200 cm<sup>3</sup> [12].

Les caractères correspondant à la vascularisation sont peu préservés. L'empreinte du *sinus sagittalis superior*, atténuée, est seulement visible au niveau des lobes occipitaux, où il semble se déverser dans le *sinus transversus* droit, dont le relief est très peu marqué. Le *sinus transversus* gauche n'est pas visible, alors que le *sinus sigmoïdeus* n'est apparent que sur cet hémisphère. Le réseau méningé moyen n'est pas visible, l'érosion de la surface interne du crâne par le sédiment qu'il contient n'a pas permis la conservation de ces caractères vasculaires.

Le *sulcus sagittalis superior* constitue une dépression large et profonde, qui n'est présente que dans la partie antérieure des lobes frontaux. Très marquée à cet endroit, elle disparaît brutalement ; les deux hémisphères sont alors accolés dans la région postérieure des lobes frontaux et au niveau des lobes pariétaux. Ce *sulcus* sépare distinctement les lobes occipitaux. Sur les deux hémisphères, une faible dépression s'étend verticalement en arrière des lobes frontaux. D'après leur position, ces empreintes pourraient correspondre au *sulcus centralis*, mais l'état de conservation de la surface endocrânienne ne permet pas d'exclure qu'il pourrait s'agir d'un artefact. La vallée sylvienne est large. Le *sulcus lateralis* n'est pas distinct sur l'hémisphère droit, mais constitue une vaste dépression. Sur l'hémisphère gauche, ce *sulcus* n'est pas préservé en avant, il correspond à un tracé diffus, orienté obliquement vers la partie supérieure des lobes occipitaux. Une faible dépression, visible en avant des lobes occipitaux, pourrait peut-être constituer la scissure perpendiculaire. La transition entre les lobes occipitaux et cérébelleux est peu marquée, bien que le cervelet soit bien individualisé. Les circonvolutions composant les différents lobes n'ont pu être distinguées, les empreintes définissant leurs limites n'étant pas perceptibles.

Les lobes cérébelleux sont séparés par une dépression large et relativement profonde ; peu proéminents, ils se placent en position reculée, sous les lobes occipitaux en vue latérale. En vue postéro-supérieure, le lobe occipital droit est en retrait par rapport au gauche. En vue latérale et en vue occipitale, les lobes occipitaux sont peu saillants et situés en arrière des lobes temporaux et pariétaux. La position des lobes occipitaux et cérébelleux sur cet endocrâne correspond à un schéma archaïque de l'évolution cérébrale vers l'homme moderne [12].

Cet endocrâne présente une morphologie générale caractéristique des *Homo erectus*, se rapprochant des endocrânes des hominidés de Ngandong [2] en ce qui

concerne ses dimensions, sa capacité cérébrale et la disposition relative de ses différents lobes.

## 4. Conclusion

L'intérêt majeur de l'application de la scannographie, technique d'imagerie d'origine médicale, à l'étude de restes fossiles est de permettre l'accès à leurs structures internes tout en conservant leur intégrité. À partir des données scannographiques en deux dimensions du fossile original Sambungmacan 1, nous avons reconstitué des images en trois dimensions de son crâne et de son endocrâne, observé l'état de conservation et de minéralisation du fossile et de ses structures internes.

L'examen de l'état de fracturation et de l'extension des fissures permet de mieux appréhender la déformation et, par conséquent, de différencier un caractère anatomique d'un artefact. Sambungmacan 1 montre ainsi une dégradation de la morphologie des parois osseuses et une forte minéralisation des tissus. La fossilisation a altéré les structures osseuses internes, les variations de densité observées à travers les coefficients d'atténuation mesurés

semblent ainsi être liées aux processus diagénétiques et les images numériques en deux dimensions ne reflètent plus la disposition originelle des tables osseuses et du diploë. Le passage de fluides et la présence de sédiment ont fortement affecté la région antérieure de l'os frontal et les parties pétreuses des temporaux ; ainsi, l'extension originelle des sinus frontaux n'est plus visible et les canaux semi-circulaires n'ont pas été préservés.

Il apparaît aussi qu'au-delà des limites techniques des méthodes utilisées ici, la conservation du fossile reste le facteur limitant le plus important pour une étude anthropologique par ces procédés. Une acquisition avec des coupes plus resserrées que celle dont nous disposons n'aurait pas permis d'obtenir davantage de données sur la morphologie endocrânienne de ce fossile. Ainsi, notre reconstitution de l'endocrâne de Sambungmacan 1 montre toutes les informations anatomiques conservées sur la surface interne du crâne. Les caractéristiques qu'elle présente le rapprochent des hominidés de Ngandong : parmi celles-ci, une forte capacité crânienne, le développement de lobes pariétaux et temporaux ou la degré de l'ouverture temporo-cérébelleuse.

**Remerciements.** Nous remercions A. Dambricourt-Malassé, le docteur J.-P. Martin et le professeur E. de Kerviler, qui ont rendu possible l'acquisition des données numériques du fossile présenté dans cette étude, ainsi que la société Materialise qui nous a fourni les logiciels utilisés ici. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la collaboration sur le Quaternaire et la Préhistoire entre le Muséum national d'histoire naturelle de Paris et l'université de Yogyakarta.

## Références

- [1] A. Balzeau, Applications de la scannographie à l'anthropologie, étude des fossiles Sambungmacan 1, Ngandong 1 et Ngandong 12 et première observation de l'endocrâne de Sambungmacan 1, DEA, Muséum national d'histoire naturelle, France, 2001 98 p.
- [2] A. Balzeau, T. Jacob, D. Grimaud-Hervé, Première observation de l'endocrâne de Sambungmacan 1 (Java, Indonésie) par le biais de la scannographie et comparaison de données crâniennes internes avec les hominidés de Ngandong, Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris 13 (1–2) (2001) 154–155.
- [3] M. Braun, Applications de la scannographie à RX et de l'imagerie virtuelle en paléontologie humaine, thèse, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France, 1996.
- [4] D.C. Broadfield, R.L. Holloway, K. Mowbray, A. Silvers, M.S. Yuan, S. Márquez, Endocast of Sambungmacan 3: a new *Homo erectus* from Indonesia, Anat. Rec. 262 (2001) 369–379.
- [5] G.C. Conroy, M. Vannier, Endocranial volume determination of matrix-filled fossil skulls using high-resolution CT, in: A.R. Liss (Ed.), Hominid Revolution: Past, Present and Future, 1985, pp. 419–426.
- [6] G.C. Conroy, M. Vannier, P. Tobias, Endocranial features of *Australopithecus africanus* revealed by 2 and 3D computed tomography, Science 247 (1990) 838–841.
- [7] G.C. Conroy, G.W. Weber, H. Seidler, P.V. Tobias, A. Kane, B. Brunson, Endocranial capacity in an early hominid from Sterkfontein, South Africa, Science 280 (1998) 1730–1731.
- [8] G.C. Conroy, G.W. Weber, H. Seidler, W. Recheis, D. Zur Nedden, J. Mariam, Endocranial capacity in Sts 71 (*Australopithecus africanus*) by three-dimensional computed tomography, Anat. Rec. 258 (2000) 391–396.
- [9] G.C. Conroy, G.W. Weber, H. Seidler, W. Recheis, D. Zur Nedden, J. Mariam, Endocranial capacity of the Bodo cranium determined from 3D computed tomography, Am. J. Phys. Anthropol. 113 (2000) 111–118.
- [10] D. Dean, A.D. Kalvin, J.J. Hublin, M. Braun, 3D composite reconstruction of Salé and Thomas Quarry cranial remains, Am. J. Phys. Anthropol. 16 (1993) 79.
- [11] D. Grimaud-Hervé, The parietal bone of Indonesian *Homo erectus*, Hum. Evol. (1–2) (1986) 167–182.
- [12] D. Grimaud-Hervé, L'évolution de l'encéphale chez l'*Homo erectus* et l'*Homo sapiens*: exemples de l'Asie et de l'Europe, CNRS, Cahiers de Paléoanthropologie, Paris, 1997.
- [13] T. Jacob, L'homme de Java, La Recherche 6 (62) (1975) 1027–1032.
- [14] T. Jacob, R.P. Soejono, L.G. Freeman, F.H. Brown, Stonetools from Mid-Pleistocene sediments in Java, Science 202 (1978) 885–887.
- [15] M.S. Ponce de Léon, C.P.E. Zolikofer, New evidence from le Moustier. 1: Computer-assisted reconstruction and morphometry of the skull, Anat. Rec. 254 (1999) 474–489.
- [16] W. Recheis, R. Macchiarelli, H. Seidler, D.S. Weaver, K. Schäfer, L. Bondioli, G.W. Weber, D. Zur Nedden, Re-evaluation of the endocranial volume of the Guattari 1 Neanderthal specimen, Coll. Antropol. 23 (2) (1999) 397–405.
- [17] A.P. Santa Luca, The Ngandong fossil hominids, Yale Univ. Publ. Anthropol. 78 (1980) 1–175.
- [18] C.C. Swisher III, W.J. Rink, S.C. Antón, H.P. Schwarcz, G.H. Curtis, A. Suprijo, Widiamoro, Latest *Homo erectus* of Java: potential contemporaneity with *Homo sapiens* in southeast Asia, Science 274 (1996) 1870–1874.
- [19] P.V. Tobias, Re-creating ancient hominid virtual endocasts by CT-scanning, Clin. Anat. 14 (2001) 134–141.
- [20] H. Widianto, Unité et diversité des hominidés fossiles de Java : présentation de restes humains inédits, thèse, Muséum national d'histoire naturelle, France, 1993.
- [21] C.P.E. Zolikofer, M.S. Ponce de Léon, R. Martin, P. Stucki, Neanderthal computer skulls, Nature 375 (1995) 283–285.
- [22] F.W. Zonneveld, C.F. Spoor, J. Wind, The use of CT in the study of the internal morphology of hominid fossils, Medicamundi 34 (3) (1989) 117–128.