

Datation par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de la couche de cendres volcaniques (couche VI) de Dmanissi (Géorgie) qui a livré des restes d'hominidés fossiles de 1,81 Ma

Henry de Lumley^{a,*}, David Lordkipanidze^b, Gilbert Féraud^c, Tristan Garcia^a, Christian Perrenoud^e, Christophe Falguères^a, Jean Gagnepain^d, Thibaud Saos^e, Pierre Voinchet^a

^a Laboratoire de préhistoire du Muséum national d'histoire naturelle, Institut de paléontologie humaine, Fondation Albert-I^{er}-Prince-de-Monaco, UMR 6569 du CNRS, 1, rue René-Panhard, 75013 Paris, France

^b Département de géologie et de paléontologie du Musée national géorgien, Académie des sciences de Géorgie, 3, Purtseladze, 38007 Tbilissi, Géorgie

^c Géosciences Azur, université de Nice–Sophia Antipolis, UMR 6526 du CNRS, 06108 Nice cedex 02, France

^d Musée de préhistoire des gorges du Verdon, UMR 6569 du CNRS, 04500 Quinson, France

^e Centre européen de recherches préhistoriques de Tautavel, av. Léon-Jean-Grégory, 66720 Tautavel, France

Reçu le 18 février 2002 ; accepté le 6 mai 2002

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Dmanisi (Georgia) hominid-bearing volcanic ash level (layer VI): 1.81 Ma. The exceptional prehistoric site of Dmanisi, in the South of Georgia, has yielded several hominid fossil remains, including three skulls and three mandibles assigned to *Homo ergaster*, in volcanic ashes and fluvio-lacustrine sands lying directly on a basalt flow. These levels also contain an archaic lithic industry consisting of pebble tools, cores and flakes, and large mammal remains attributed to the beginning of the Lower Pleistocene (Biharian). The basalt flow has been previously dated to about 1.85 Ma, but the overlying volcanic ash level had not yet been dated. In this paper, we present $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of plagioclase and glass from the volcanic ash level that has yielded Quaternary fauna, lithic artefacts and several human remains, which gives an age of 1.81 ± 0.05 Ma. The subcontemporaneity of Hominid presence and volcanic ash deposition makes Dmanisi the oldest prehistoric site currently known in Europe and proves human presence at the gates of Europe 1.81 Ma ago. **To cite this article:** H. de Lumley et al., C. R. Palevol 1 (2002) 181–189. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Dmanisi / Georgia / *Homo ergaster* / earliest occupation of Europe / $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating

Résumé – Le site de Dmanissi, dans le Sud de la Géorgie, est un gisement préhistorique exceptionnel qui a livré, dans des cendres volcaniques et des sables fluvio-lacustres reposant directement sur une coulée de basalte, plusieurs restes d'Hominidés fossiles, dont trois crânes et trois mandibules, appartenant à *Homo ergaster*, une industrie lithique archaïque composée essentiellement de galets aménagés, de nucléus et d'éclats et une faune de grands vertébrés, attribuée au début du Pléistocène inférieur (Biharien). La coulée de basalte, sous-jacente aux cendres volcaniques, a été datée d'environ 1,85 Ma, mais les cendres volcaniques elles-mêmes qui la recouvrent et qui contiennent des faunes quaternaires, des industries lithiques et plusieurs restes humains n'avaient pas encore été datées. Dans cet article, nous présentons une datation de cette couche par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur plagioclases et verres, qui permet d'attribuer un âge de $1,81 \pm 0,05$ Ma aux restes humains. La subcontemporanéité du passage de l'Homme et du dépôt des cendres volcaniques font du site de Dmanissi le gisement préhistorique le plus ancien actuellement connu en Europe. Il témoigne de la présence de l'Homme aux portes de l'Europe il y a environ 1,81 Ma. **Pour citer cet article :** H. de Lumley et al., C. R. Palevol 1 (2002) 181–189. © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Dmanissi / Géorgie / *Homo ergaster* / premiers peuplements de l'Europe / datation / $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

* Correspondance et tirés à part.
Adresse e-mail : lumley@mnhn.fr (H. de Lumley).

Abridged version

The basaltic spur of Dmanisi is located 70 km southwest of Tbilisi, Georgia (Fig. 1), at the confluence of the Masavera and Pinezaouri Rivers.

The stratigraphy of the site has been described from four excavation areas, five test pits and six medieval pits and silos. The most complete stratigraphic profiles are to the north of sector II (east–west 59/60, Fig. 2) and to the west of house XI (north–south in band 47).

Ten sedimentary units have been defined.

1. A basalt flow, at the base, with a very rough, non-weathered surface.

2. Layer VI, made of dark grey to olive sands is composed of powdery to well cemented ashes. These deposits overlay conformably the basaltic surface and fill the gaps between the lava flow. The ashes include numerous ravelled volcanic grains made of glass, with sharp edges and minerals like augite, olivine, feldspars (including albite), hornblende, hypersthene and rare biotites. A microprobe study revealed the presence of a few K-feldspars, similar to cryptoperthites. The morphology and composition of this sand prove that it derives from an alkaline eruption, issued from a different magma than the basalt, and that it did not undergo postdepositional reworking.

This layer has yielded abundant large Quaternary mammals, an archaic lithic industry consisting of pebble tools, cores and flakes, and several human fossil remains, notably the Dmanisi 5 mandible (D 2600), unearthed on 26 September 2000.

3. Layer V. Sand of chocolate and caramel colour, corresponding to lacustrine deposits often truncated by grey bedded sands of alluvial origin.

4. Layer IVb. Ochre and grey bedded gravely sands, silts and clays.

5. Layer IVa. Ochre sand with numerous carbonated root coatings.

6. Layer III. Ochre sand with numerous subhorizontal carbonated beds. The carbonated beds, white to light ochre in colour, 1 to 15 mm thick, present very clear lateral continuity throughout the width of the profiles (10 m). They correspond to a secondary cementation of pedological origin.

7. Layer IIb. Soft yellowish beige sand with numerous crumbly brown inclusions.

8. Layer IIa. Cemented grey sand with whitish alveolar inclusions.

9. Layer I. Upper yellowish beige sand.

10. Layer 0. Heterogeneous grey sand covering the site and filling the Middle Age pits and silos.

Large mammal remains unearthed in the different layers are attributed to the Biharian (Upper Villafranchian, beginning of the Lower Pleistocene, biozone 18).

Lithic industry can be compared to the East-African Preoldowayan and presents numerous similarities with the industry found in some sites at or earlier than 2 Ma, such as Fejej FJ-1 in Ethiopia and Lokalelei LA2C in Kenya.

Human remains, skulls, mandibles and postcephalic bones may be ascribed to an archaic east African *Homo erectus*, known as *Homo ergaster*, of which the oldest remains are 1.8 Ma in age.

Up to now, these Georgian fossils had never been directly dated. Only the underlying basalt flow had been dated to 1.85 ± 0.01 Ma [3].

The magnetostratigraphic study of the deposits gives normal polarity for the basalt, the volcanic ashes (layer VI) and the lower layers V, IVb and IVa. These layers are thus correlated with the Olduvai episode, with an age between 1.77 and 1.85 Ma, taking the age of the basalt into account.

In order to specify the age of the human remains, direct dating of the volcanic ashes (layer VI), in which they have been discovered, was carried out with the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method.

Since suitable plagioclase and glass are not abundant, we carefully selected for dating a few single grains under a binocular microscope in order to keep only very transparent plagioclase and glass. All the samples were irradiated in position 5C for 10 h in the nuclear reactor of the McMaster University, Hamilton, Canada. The total neutron flux density during irradiation was $1.26 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2}$, with a maximum flux gradient estimated at $\pm 0.2\%$ in the volume containing the samples. The Fish Canyon sanidine (FCs), with an age of 28.02 Ma [7], was used as a flux monitor. Gas extraction was carried out with a Synrad 50 W CO_2 continuous laser; the mass spectrometer is a VG 3600 working with a Daly detector system. The criteria for defining plateau ages were the following: (i) the plateau should contain at least 70% of released ^{39}Ar , (ii) there should be at least three successive steps in the plateau, and (iii) the integrated age of the plateau should agree with each apparent age of the plateau within a 2σ error confidence interval. All errors are quoted at the 2σ level and do not include the errors on the age of the monitor. Apparent ages are reported at the 1σ level in Table 1 and on the age spectra.

Three fractions of 6 to 12 grains of plagioclase were step heated. Two experiments displayed plateau ages of 1.74 ± 0.29 and 1.74 ± 0.18 Ma, corresponding to three temperature steps and 95 and 97% of total ^{39}Ar released, respectively (Fig. 4). The third fraction gave an apparent age of 1.62 ± 0.26 Ma on the fusion step corresponding to 85% of the total ^{39}Ar . The weighted mean calculated on these three concordant ages is 1.71 ± 0.13 Ma. The $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ ratio spectra show that the mineralogical composition of the three fractions is homogeneous at high temperatures, but show lower ratios at lower temperatures, possibly indicating alteration phases, but no corresponding discordant ages appear on these fractions. The $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ inverse isochron diagram displays, from the same steps (excluding low temperature data, that may be affected by alteration), a concordant age of 1.70 ± 0.22 Ma with an initial $^{30}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio of 297.9 ± 74.2 undistinguishable from atmospheric composition (MSWD = 0.51).

The glass fraction displayed a plateau age of 1.82 ± 0.05 Ma (on 97% of the total ^{39}Ar released), concordant

with the plagioclase plateau ages and weighted mean. Compared to plagioclase age data, the lower error bar is due to higher K content. The stable corresponding $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ ratio demonstrates that the analysed glass was not altered. The age of 1.93 ± 0.30 Ma given by correlation diagram is concordant with the plateau age (initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio = 252 ± 63 , MSWD = 1.75).

When we plot on the inverse isochron diagram the data corresponding to the plateau ages (and one high temperature apparent age on one plagioclase fraction), we obtain an age of 1.73 ± 0.22 Ma (initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio = 319 ± 49 , MSWD = 1.3). The more precise weighted mean of 1.81 ± 0.05 Ma calculated from the

plateau ages obtained on plagioclase and glass fractions may represent the best estimate of the age of the volcanic ash layer VI. This age concords with the age of 1.85 ± 0.1 Ma measured on the basalt using the same FCs sanidine monitor calibrated in the same way [3].

This age is issued from preliminary data. It represents the first direct dating of the layer of the human fossil remains of this prehistoric site. Other mineral fractions for further dating experiments on the deposits from layer VI are in progress.

The Dmanisi site clearly appears to be the oldest prehistoric site currently known in Europe and proves human presence at the gates of Europe 1.81 Ma ago.

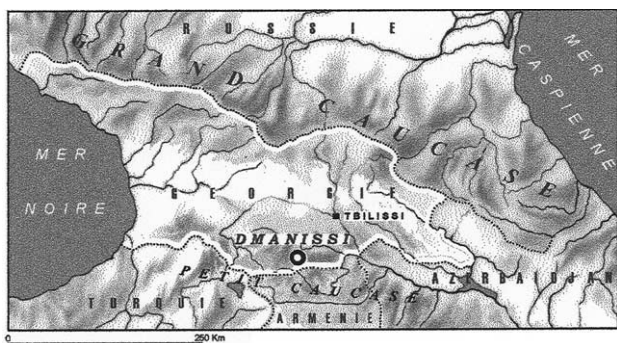


Figure 1. Le site de Dmanissi est situé, en Géorgie, à 70 km au sud-ouest de Tbilissi, à 1000 m d'altitude, sur les pentes septentrionales du petit Caucase.

Figure 1. The site of Dmanisi is located 70 km southwest of Tbilisi, Georgia, at an altitude of 1000 m, on the northern slopes of the Little Caucasus.

L'éperon basaltique de Dmanissi est situé à proximité du village de Patara Dmanissi, à environ 70 km au sud-ouest de Tbilissi, en Géorgie (Fig. 1). Il est formé par la confluence de deux rivières : la Masavera, qui le borde au nord-ouest et la Pinezaouri, qui le borde au sud-est. À environ 1000 m d'altitude, il domine d'une centaine de mètres les fonds des vallées actuelles.

Cet éperon porte la cité médiévale de Dmanissi construite au IX–X^e siècle, prospère du XII^e au XIV^e siècle et détruite dans la deuxième moitié du XIV^e siècle par Tamerlan (Timur Lang), conquérant turc musulman à la tête de la Horde d'Or. C'est la fouille de cette cité médiévale qui est à l'origine de la découverte du site paléolithique en 1983.

La stratigraphie du site de Dmanissi est connue grâce à quatre zones de fouilles, cinq sondages d'extension réduite et six fosses médiévales, avec parfois une cave attenante creusée dans les sédiments. Les coupes stratigraphiques les plus complètes sont : la coupe stratigraphique nord du secteur II (est-ouest,

59/60, Fig. 2) et la coupe stratigraphique ouest de la maison XI (nord-sud, dans la bande 47).

Dix unités sédimentaires principales peuvent être observées.

1. Une coulée basaltique, à la base, dont la surface est très irrégulière, hérissée d'aspérités acérées, avec des dépressions pouvant atteindre 1 m de profondeur. Issue des monts Dzavacheti ou des montagnes d'Emliki, à l'ouest du site, cette coulée a emprunté la vallée de la paléo-Masavera, en se dirigeant vers le nord-est.

Ce basalte, rarement massif, le plus souvent vacuolaire, est très peu altéré. Un revêtement carbonaté blanchâtre le recouvre de manière homogène, sur 0,5 à 2 mm d'épaisseur.

2. Couche VI. Sable gris-noir à olive, constitué de cendres pulvérulentes à très cimentées. Ces dépôts recouvrent la surface basaltique sur des épaisseurs comprises entre 0 et 50 cm et comblent les dépressions et les fissures en surface de la coulée. Ce sable est composé de grains acérés, non altérés, comprenant beaucoup de grains de verre volcanique d'aspect effiloché, et des minéraux, dont la plupart sont recouverts d'une gangue vitreuse, qui incluent beaucoup d'augite altérée, de l'olivine, des feldspaths, le plus souvent altérés, dont de l'albite, un peu de hornblende et d'hypersthène et de rares biotites (Fig. 3). Quelques feldspaths sodi-potassiques de type cryptoperthite (mélange de 90% d'orthose et de 10% d'albite) ont été décelés par microanalyse EDS au MEB environnemental par Brigitte Deniaux et Tristan Garcia.

La morphologie et la composition de ce sable démontrent qu'il s'agit de cendres issues d'une éruption basique, à partir d'un magma différent de celui du basalte, et que ces retombées éoliennes n'ont pas subi de remaniement postdépositionnel.

De nombreux ossements de grands vertébrés quaternaires, des outils lithiques et quelques restes humains, notamment la mandibule Dmanissi 5, D 2600, mise au jour le 26 septembre 2000, ont été décou-

DMANISSI, secteur II Coupe stratigraphique W-E, 59/60

W

Plan 0 — 1017,96 m au-dessus du niveau de la mer

Plan 0

E

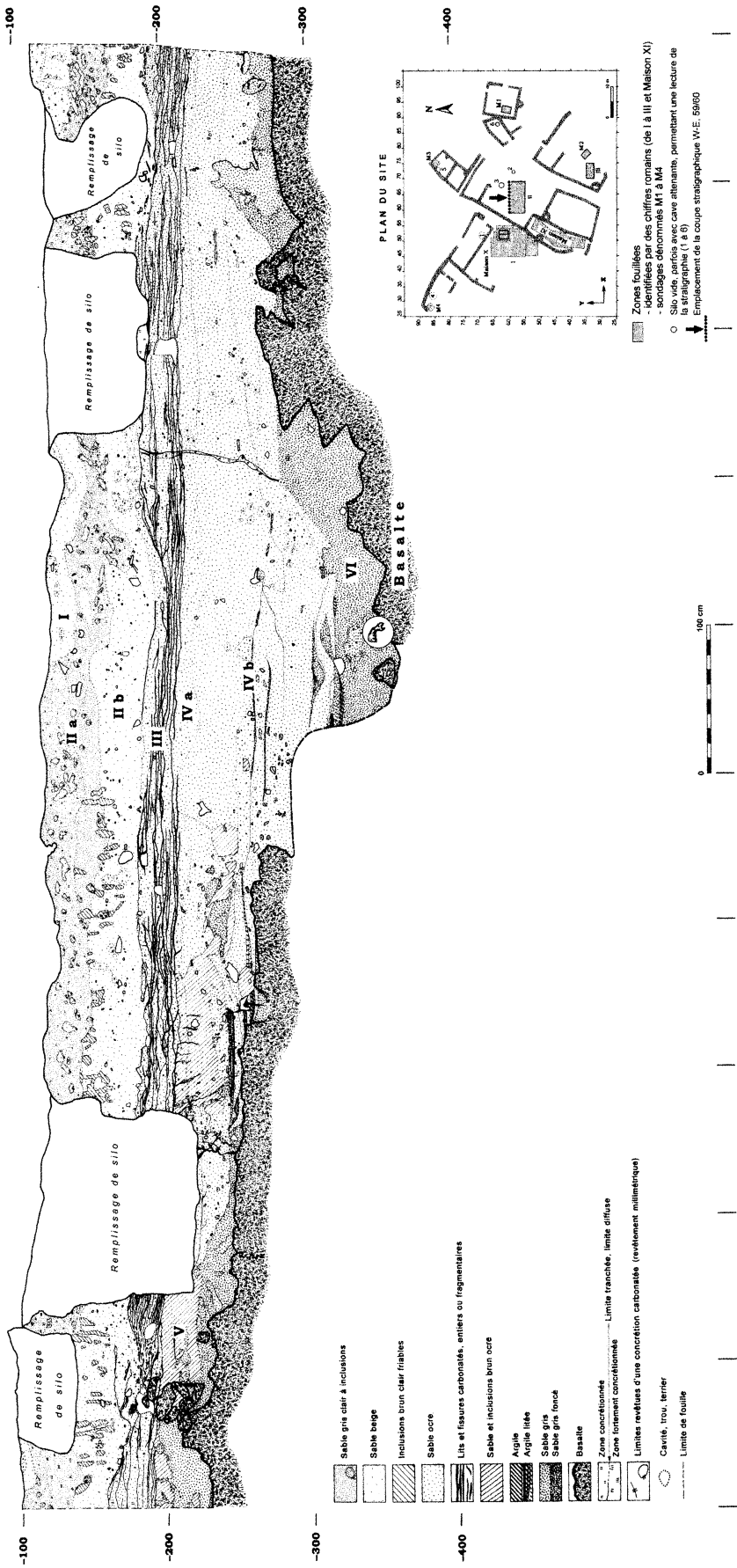


Figure 2. Coupe stratigraphique du site de Dmanissi, dans le secteur II, à la limite des bandes 59 et 60. Une mandibule d’Hominidé fossile (Dmanissi 5, D 2600), dans un cercle blanc sur la coupe, découverte le 26 septembre 2000, était située dans la couche VI, constituée de cendres volcaniques provenant de retombées éoliennes, à une dizaine de centimètres au-dessus de la surface de la coulée basaltique. Les datations par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ont été effectuées sur des minéraux et des verres volcaniques provenant d’un échantillon de cendre qui entourait la mandibule.

Figure 2. Dmanisi stratigraphic profile, in sector II between bands 59 and 60. A Hominid mandible (Dmanisi 5, D 2600), in a white circle on the profile, discovered on 26 September 2000, comes from layer VI made up of aeolian volcanic ash at about 10 cm above the surface of the basalt flow. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating was carried out on volcanic minerals and glass from an ash sample surrounding the mandible.

verts dans ces dépôts, ce qui démontre la subcontemporanéité du passage de l’Homme et du dépôt de ces cendres.

3. Couche V. Sable chocolat à caramel. Un sable moyen, d’une épaisseur maximale de 50 cm, recouvre en concordance le niveau de cendres. De couleur chocolat à la base, il devient de couleur caramel vers le haut. Ces dépôts correspondent à des dépôts lacustres altérés lors d’un assèchement du lac. Ils sont localement recoupés par des sables lités gris, correspondant à un épisode fluviatile d’assez forte

compétence, qui a eu lieu après le dépôt des sables chocolat et leur altération.

4. Couche IVb. Sables à granules lités, limons et argiles lités ocre et gris. Ces dépôts, d’un mètre d’épaisseur environ, sont constitués par une succession de lentilles sableuses ocre, de lentilles sableuses grises et de petits niveaux argileux, de sables gris à gravillons finement lités à stratification entrecroisée occasionnelle. De petits blocs ou des fragments de sédiments encaissants (cendres gris–noir et sables chocolat ou caramel) se retrouvent dans ces niveaux lités.

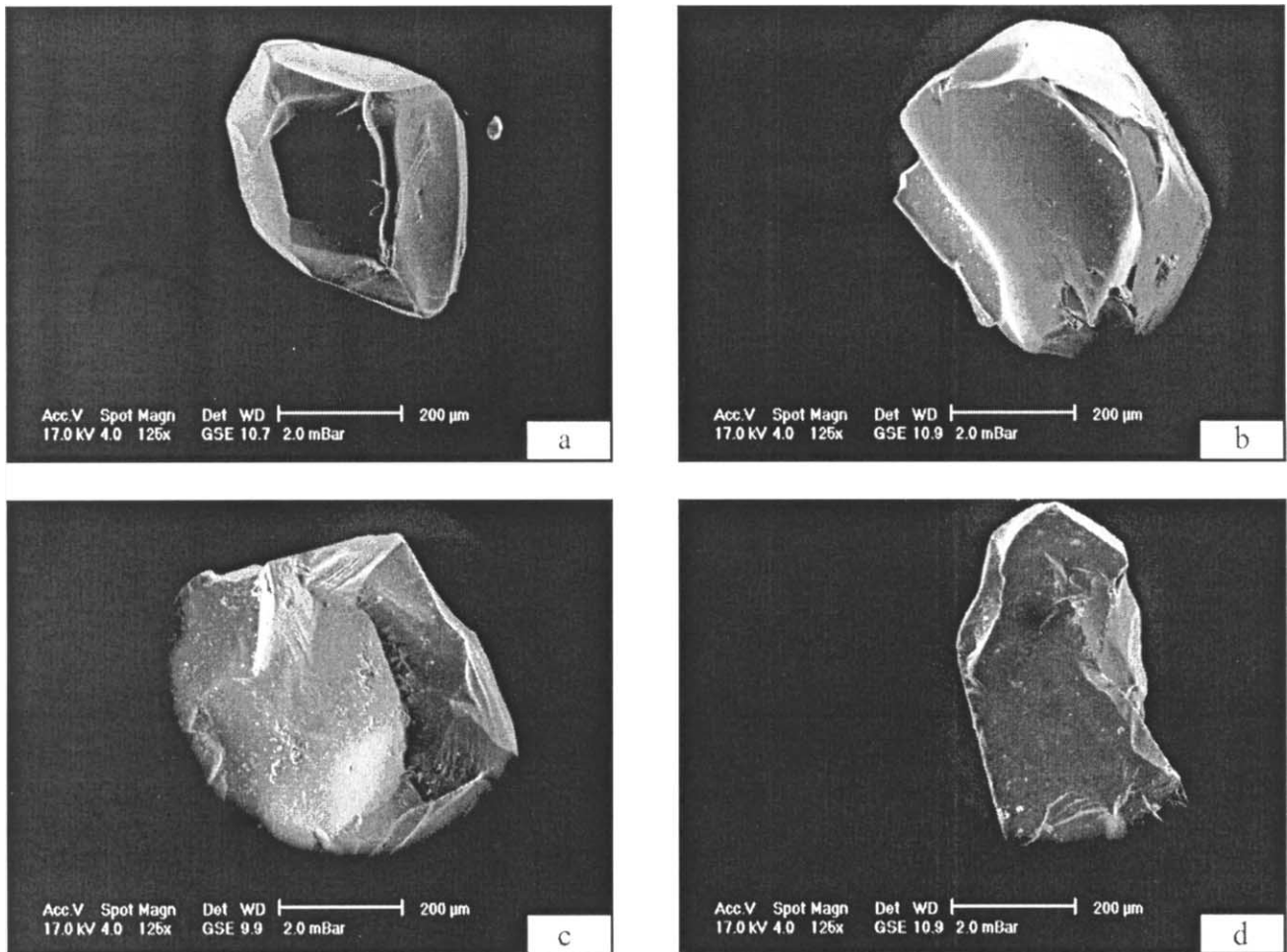


Figure 3. Minéraux et verres volcaniques de la couche VI du site de Dmanissi. **a** et **b** : plagioclases ; **c** et **d** : verres volcaniques. Ces minéraux, aux arêtes anguleuses, non altérés, indiquent que ces cendres volcaniques n’ont pas subi de transport secondaire et qu’elles correspondent à un dépôt primaire, d’origine éolienne, constitué au moment même de leur émission.

Figure 3. Dmanisi volcanic minerals and glass from layer VI. **a** and **b** : plagioclase ; **c** and **d** : volcanic glass. These minerals are sharp-edged, unweathered, and indicate that the volcanic ashes have not been reworked and thus represent a primary aeolian deposit.

Des ossements et des outils lithiques ont également été découverts dans ces alluvions.

5. Couche IVa. Sable ocre à nombreux manchons racinaires. Un sable marron ocre, compact, de 30 cm d'épaisseur, présentant localement un aspect lité, recouvre les sables lités ocre et gris. Très hétérométrique, il contient de petits galets de 5 mm de diamètre, des fragments détritiques gris–noir de cendres volcaniques, des granules bruns indurés et des nodules anguleux ocre foncé, qui correspondent à des fragments de la couche de sable chocolat, et des plaquettes d'argile détritique, issues de la désagrégation des niveaux lités. Ces dépôts semblent constituer le sommet de l'unité fluviatile sous-jacente. Quelques ossements sont présents, parfois en position détritique remaniée, comme ceux inclus dans les plaquettes argileuses.

6. Couche III. Sable ocre zébré de lits carbonatés subhorizontaux. Le sable ocre de cette unité sédimentaire, de 30 cm d'épaisseur, est très semblable à celui de l'unité sous-jacente. Il présente une cimentation carbonatée massive au sommet. Les lits carbonatés, blancs à ocre clair, compacts ou tendres, de 1 à 15 mm d'épaisseur, sont subhorizontaux. Ils présentent des continuités très nettes sur toute la longueur des coupes, mais ils se rejoignent parfois et s'interconnectent. Ces lits carbonatés recoupent souvent les fragments de sédiments détritiques issus des unités sous-jacentes, ce qui témoigne d'une carbonatation secondaire, pédologique.

7. Couche IIb. Sable beige–jaune meuble à nombreuses inclusions brunes friables. Cette unité sédimentaire, notablement différente des niveaux sous-jacents, d'environ 65 cm d'épaisseur, très hétérométrique, comprend une fraction grossière peu abondante, avec de petits galets de basalte, de quartz, de quelques millimètres de diamètre, disposés en lits. Ces dépôts contiennent une faune abondante ainsi que des vestiges d'une riche industrie paléolithique.

8. Couche IIa. Sable gris concrétionné à inclusions alvéolaires blanchâtres. Sable moyen et fin, à fraction grossière peu abondante, contenant quelques fragments centimétriques de basalte non altéré et de nombreux granules bruns indurés, fortement concrétionnés.

9. Couche I. Sable beige–jaune supérieur. Cet ensemble sommital, analogue à la couche IIb, ne contient pas d'inclusions comme celles des niveaux IIa et IIb. Ce niveau contient quelques ossements et des outils lithiques.

10. Couche 0. Sable gris hétérogène. Ces dépôts recouvrent le site et comblent les fosses et les silos du Moyen Âge. Ils comprennent de 20 à 90% de fraction grossière (céramiques, ossements, charbons de bois, galets, granules, blocs hétérométriques de sédiments encaissants). La faune de grands mammifères [3] provenant des différents niveaux, relativement ho-

mogène, est caractérisée par des espèces présentes à la fois dans le Villanien (Villafranchien moyen–Pliocène supérieur, biozone 17) et dans le Biharien (Villafranchien supérieur–début du Pléistocène inférieur, biozone 18) : *Ursus etruscus*, *Homotherium crenatidens*, *Stephanorhinus etruscus*, *Equus stenonis*, *Eucladoceros senezensis*. L'absence d'*Anancus arvernensis* et d'*Hipparion*, encore représentés dans la biozone 18 et qui disparaissent dans la biozone 17, permet d'attribuer cette faune plutôt au Biharien. *Panthera gombazoegensis* et *Soergelia*, présents à Dmanissi, se rencontrent à partir du début du Pléistocène inférieur. Un cervidé de taille moyenne *Dama* (ou *Pseudodama nestii*, également présent à Dmanissi, comme à Olivola et à Valdarno supérieur, est caractéristique de la limite Plio–Pléistocène et du début du Pléistocène inférieur. *Pachycrocuta perrieri* et *Gazella barbonica*, découverts à Dmanissi, vont disparaître rapidement au début du Pléistocène inférieur. La faune de grands mammifères de Dmanissi est donc à placer au tout début du Pléistocène inférieur.

L'industrie lithique découverte à Dmanissi peut être comparée au Préoldowayen de l'Afrique de l'Est. Elle possède de nombreux points communs avec celle de certains sites contemporains ou antérieurs à 2 Ma, tels que Fejej FJ-1 en Éthiopie ou Lokalelei LA2c au Kenya. L'outillage est caractérisé par une proportion relativement élevée d'outils sur galet sommairement aménagé (*choppers* et *chopping tools*), de nombreux galets entiers présentant des stigmates de percussion, des nucléus peu exploités et peu standardisés. Les éclats relativement nombreux proviennent, soit du débitage des nucléus, soit du façonnage des galets aménagés. Alors que le tranchant des éclats présente souvent des retouches irrégulières d'utilisation, le façonnage des petits outils sur éclat est extrêmement rare.

Les restes humains, crânes, mandibules, ossements du squelette post-céphalique, paraissent pouvoir être rapprochés de certains *Homo erectus* archaïques d'Afrique de l'Est, appelés *Homo ergaster*, dont les plus anciens représentants connus datent de 1,8 Ma.

Jusqu'à présent, les sédiments englobant ces fossiles n'avaient jamais été datés directement.

Les premières données géochronologiques ont été obtenues par des datations de la coulée basaltique sous-jacente qui ne pouvaient donner qu'un âge maximum :

- 0,530 ± 0,020 Ma [8] : méthode K/Ar
- 1,800 ± 0,100 Ma [6] : méthode K/Ar
- 1,800 ± 0,100 Ma [1] : méthode K/Ar
- 1,950 ± 0,220 Ma [9] : méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
- 2,000 ± 0,100 Ma [9] : méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
- 2,040 ± 1,370 Ma [9] : méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
- 0,530 Ma [5] : méthode K/Ar
- 1,845 ± 0,008 Ma [3] : méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
- 1,853 ± 0,006 Ma [3] : méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

Tableau 1. Données détaillées $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Palier = numéro de palier. % ^{39}Ar = fraction de ^{39}Ar libéré pour chaque palier ; $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$ = ^{40}Ar atmosphérique ; $^{40}\text{Ar}^*$ = ^{40}Ar radiogénique ; Ar_{Ca} et Ar_{K} = Ar produit par les interférences de neutrons du Ca et du K respectivement. La marge d'erreur est de 1σ et ne comprend pas la valeur du paramètre J d'irradiation. Les facteurs de correction dus aux isotopes produits par les neutrons dans le réacteur McMaster sont $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 7,06 \times 10^{-4}$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2,79 \times 10^{-4}$ et $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 2,97 \times 10^{-2}$.

Table 1. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data. Step = step number. % ^{39}Ar = fraction of ^{39}Ar as released for each step; $^{40}\text{Ar}_{\text{Atm}}$ = atmospheric; $^{40}\text{Ar}^*$ = radiogenic ^{40}Ar ; Ar_{Ca} and Ar_{K} = Ar produced by Ca and K neutron interferences, respectively. The error bar is at the 1σ level and does not include the error in the value of the J irradiation parameter. Correction factors for interfering isotopes produced by neutrons in the McMaster reactor were $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 7.06 \times 10^{-4}$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2.79 \times 10^{-4}$ and $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 2.97 \times 10^{-2}$.

| Palier (n°) | Contamination atmosphérique (%) | ^{39}Ar (%) | $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ | $^{40}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ | Âge (Ma) |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|--|--|--------------|
| Plagioclase, 6 grains | | | | | |
| 1 | 34,571 | 0,13 | 0,747 | 7,569 | 33,92 ± 28,1 |
| 2 | 46,389 | 1,09 | 1,887 | 1,768 | 7,98 ± 3,75 |
| 3 | 43,731 | 1,71 | 2,646 | 0,809 | 3,66 ± 2,35 |
| 4 | 30,798 | 21,70 | 2,705 | 0,390 | 1,76 ± 0,18 |
| 5 | 18,503 | 37,05 | 2,668 | 0,380 | 1,72 ± 0,14 |
| fusion | 11,858 | 38,92 | 3,939 | 0,387 | 1,75 ± 0,15 |
| âge intégré = 1,88 ± 0,11 | | | | | |
| Plagioclase, 12 grains | | | | | |
| 1 | 48,394 | 5,21 | 2,221 | 1,434 | 6,48 ± 1,20 |
| 2 | 10,133 | 6,22 | 3,066 | 0,561 | 2,54 ± 0,86 |
| 3 | 29,163 | 34,43 | 3,218 | 0,332 | 1,50 ± 0,25 |
| fusion | 15,293 | 54,14 | 3,986 | 0,399 | 1,81 ± 0,17 |
| âge intégré = 1,99 ± 0,15 | | | | | |
| Plagioclase, 11 grains | | | | | |
| 1 | 100 | 0,39 | 3,134 | – | – |
| 2 | 100 | 3,47 | 4,108 | – | – |
| 3 | 100 | 11,36 | 4,014 | – | – |
| fusion | 29,471 | 84,78 | 4,260 | 0,358 | 1,62 ± 0,131 |
| âge intégré = 1,62 ± 0,13 | | | | | |
| Verre | | | | | |
| 1 | 34,096 | 0,95 | 0,064 | 0,603 | 2,73 ± 0,87 |
| 2 | 53,218 | 2,05 | 0,056 | 0,346 | 1,56 ± 0,39 |
| 3 | 42,397 | 8,29 | 0,058 | 0,381 | 1,72 ± 0,14 |
| 4 | 33,238 | 15,64 | 0,058 | 0,396 | 1,79 ± 0,07 |
| 5 | 34,921 | 18,65 | 0,060 | 0,377 | 1,70 ± 0,05 |
| 6 | 28,616 | 24,01 | 0,061 | 0,411 | 1,86 ± 0,04 |
| 7 | 33,012 | 12,75 | 0,060 | 0,415 | 1,88 ± 0,08 |
| fusion | 25,885 | 17,67 | 0,061 | 0,421 | 1,90 ± 0,05 |
| âge intégré = 1,82 ± 0,03 | | | | | |

L'étude magnétostratigraphique des dépôts, de polarité directe pour le basalte, les cendres volcaniques (couche VI) et les dépôts des couches inférieures V, IVb et IVa, permettent de les situer dans l'épisode d'Olduvai (cf. [2, 3, 10] ainsi que les mesures effectuées par l'un d'entre nous (Tristan Garcia) au CEREGE), et donc de leur attribuer un âge plus ancien que 1,78 Ma (âge de la transition entre Olduvai et Matuyama supérieur). Quelques mesures de polarité inverse obtenues dans ces niveaux paraissent provenir de blocs encaissants remaniés dans les dépôts sédimentaires lacustres. Une étude récente place l'inversion d'Olduvai–Matuyama à l'intérieur du basalte

[4], mais ce dernier résultat est en contradiction avec toutes les autres données.

Afin de préciser l'âge des restes humains, une datation directe des cendres volcaniques de la couche VI, dans laquelle plusieurs d'entre eux, associés à des restes de grands mammifères et des outils lithiques ont été découverts, a été effectuée à l'aide de la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ par Gilbert Féraud et Tristan Garcia.

Comme le verre et le plagioclase utilisables pour la datation ne sont pas abondants, nous en avons soigneusement sélectionné quelques grains isolés sous un microscope binoculaire, afin de ne garder que les

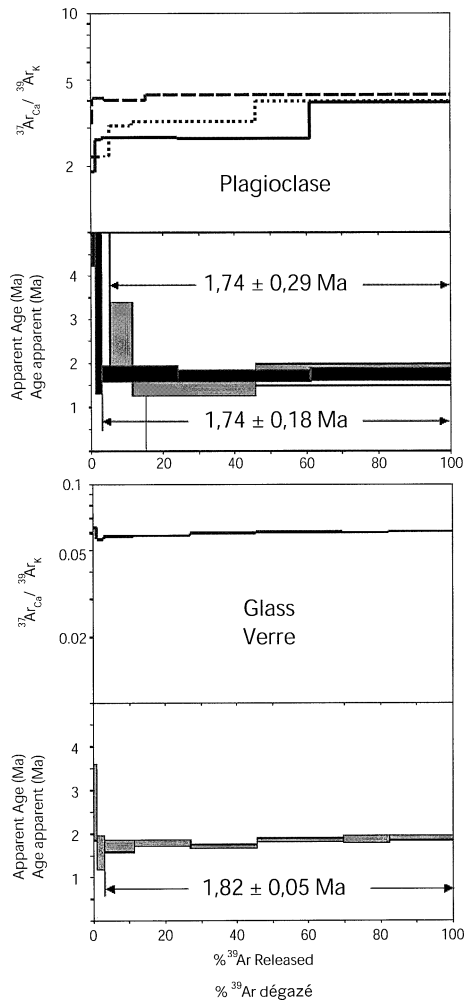


Figure 4. Spectres d'âges $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ et du rapport $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ pour les plagioclases et le verre des cendres de la couche VI ayant livré des restes d'hominidés fossiles. Les âges plateaux sont donnés avec une marge d'erreur de 2σ . Les flèches indiquent les étapes incluses dans les calculs des âges plateaux pour chaque expérience.

Figure 4. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ ratio spectra for the plagioclase and glass from the deposit containing fossils. Error bars on plateau ages are given at the 2σ level. Arrows show the steps included in the plateau age calculations for each experiment.

exemplaires les plus transparents. Tous les échantillons ont été irradiés pendant 10 h dans le réacteur nucléaire de l'université McMaster (Hamilton, Canada). La densité totale du flux de neutrons durant l'irradiation était $1,26 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2}$, avec un gradient maximum du flux estimé à $\pm 0,2\%$ dans le volume contenant les échantillons. La sanidine Fish Canyon (FCs), avec un âge de 28,02 Ma [7], a été utilisée comme moniteur de flux. L'extraction du gaz a été réalisée avec un laser continu, Synrad 50 W CO_2 ; le spectromètre de masse est un VG 3600 travaillant avec un système de détection Daly. Les critères de définition des âges plateaux sont les suivants : (i) les plateaux doivent contenir au moins 70% de la fraction de ^{39}Ar , (ii) il doit y avoir au moins trois étapes

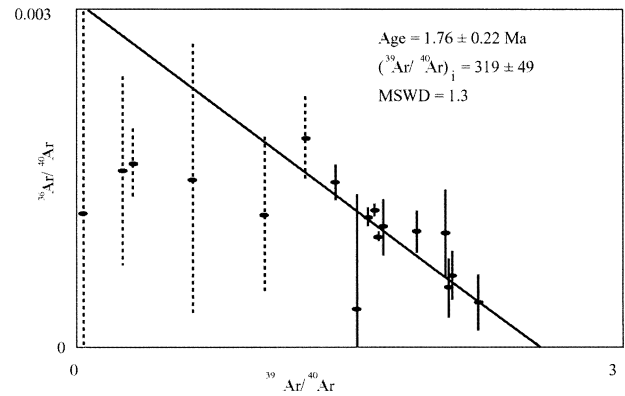


Figure 5. Diagramme isochrone inverse des rapports $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ et $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ pour l'ensemble des données, plagioclases et verre (à l'exception des étapes de basse température, en tiretés). L'âge est présenté avec une marge d'erreur de 2σ .

Figure 5. $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ inverse isochron diagram for all the data, plagioclase and glass (excluding low temperature steps, in dashed lines). The age is given at the 2σ level.

successives dans le plateau et (iii) l'âge intégré du plateau doit être en accord avec chaque âge apparent du plateau, avec une erreur d'intervalle de confiance de 2σ . L'erreur sur les âges plateaux, les âges isochrones et les moyennes pondérées est donnée à 2σ ; elle ne prend pas en considération les erreurs sur l'âge du moniteur. Sur le Tableau 1 et sur les spectres d'âge, les âges apparents pour chaque étape de température sont reportés avec un intervalle de 1σ .

Trois fractions de 6 à 12 grains de plagioclase ont été chauffées par étape. Deux expériences ont montré des âges plateaux de $1,74 \pm 0,29$ et de $1,74 \pm 0,18 \text{ Ma}$, correspondant à trois étapes de températures et à 95 et 97 % du total de ^{39}Ar émis, respectivement (Fig. 4). La troisième fraction donne un âge apparent de $1,62 \pm 0,26 \text{ Ma}$ à l'étape de fusion correspondant à 85 % du ^{39}Ar total. La moyenne pondérée calculée sur ces trois âges concordants est de $1,71 \pm 0,13 \text{ Ma}$. Les spectres du rapport $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ montrent que la composition minéralogique des trois fractions est homogène à haute température, mais indique des rapports plus bas à une température moins élevée, suggérant l'existence possible de phases d'altération, bien qu'aucune discordance d'âges correspondants n'apparaisse sur les fractions. Une zonation chimique des plagioclases est également possible. Le diagramme isochrone inverse $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ montre, à partir des mêmes étapes (excluant les données qui peuvent être affectées par l'altération), un âge concordant de $1,70 \pm 0,22 \text{ Ma}$ avec un rapport initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ de $297,9 \pm 74,2$, indifférenciable de la composition atmosphérique (MSWD = 0,51).

La fraction vitreuse montre un âge plateau de $1,82 \pm 0,05 \text{ Ma}$ (sur 97% du ^{39}Ar total émis), en accord avec l'âge plateau du plagioclase et la

moyenne pondérée dans la limite des marges d'erreur. Comparée aux données du plagioclase, la plus petite marge d'erreur est due à une plus grande quantité de K. Le rapport stable $^{37}\text{Ar}_{\text{Ca}}/^{39}\text{Ar}_{\text{K}}$ démontre que le verre analysé n'a pas été altéré. L'âge de $1,93 \pm 0,30$ Ma donné par le diagramme isochrone inverse est concordant avec l'âge plateau (rapport $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ initial = 252 ± 63 , MSWD = 1,75).

Lorsque nous traçons le diagramme isochrone inverse (Fig. 5) des données correspondant aux âges plateaux (et un âge apparent à haute température sur une fraction de plagioclase), nous obtenons un âge de $1,76 \pm 0,22$ Ma (rapport initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 319 \pm 49$, MSWD = 1,3). La moyenne pondérée plus précise de $1,81 \pm 0,05$ Ma calculée à partir des âges plateaux obtenus sur les fractions de plagioclase et de verre

peut représenter la meilleure estimation de l'âge de la couche de cendres volcaniques VI. Cet âge est préféré à l'âge isochrone, car ce dernier est issu de données relativement groupées sur le diagramme isochrone inverse, entraînant une grande marge d'erreur. Cet âge est en accord avec l'âge de $1,85 \pm 0,01$ Ma mesuré sur le basalte sous-jacent en utilisant le même moniteur la sanidine Fish canyon (FCS), étalonné de la même façon [3].

Cet âge représente une donnée préliminaire, et nous préparons d'autres fractions de minéraux pour effectuer de nouvelles datations du site.

Le site de Dmanissi apparaît bien comme le gisement préhistorique le plus ancien actuellement connu en Europe. Il témoigne de la présence de l'Homme aux portes de l'Europe il y a environ 1,81 Ma.

Références

- [1] V. Dzaparidze, G. Bosinski, T. Bugianisvili, L. Gabunia, A. Justus, N. Klopotovskaja, E. Kvavadze, D. Lordkipanidze, G. Majsuradze, N. Mgeladze, M. Nioradze, E. Pavlenisvili, H.-U. Schmincke, D. Sologasvili, D. Tusabramisvili, M. Tvalcrelidze, A. Vekua, Der altpaläolithische Fundplatz Dmanisi in Georgien (Kaukasus), *Jahrb. Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz, Römisch-Germanischen Zentralmuseums Forschungsinstitut für vor- und Frühgeschichte* 36 (Jahrgang 1989) (1991) 67–116.
- [2] L. Gabunia, A. Vekua, D. Lordkipanidze, The environmental contexts of early human occupation of Georgia (Transcaucasia), *J. Hum. Evol.* 40 (2000) 785–802.
- [3] L. Gabunia, A. Vekua, D. Lordkipanidze, I.C.C. Swisher, R. Ferring, A. Justus, M. Nioradze, M. Tvalcrelidze, S.C. Anton, G. Bosinski, O. Jöris, M.-A. de Lumley, G. Majsuradze, A. Mouskhelishvili, Earliest Pleistocene hominid cranial remains from Dmanisi, Republic of Georgia: taxonomy, geological setting, and age, *Science* 288 (5468) 12 May 2000.
- [4] A. Goguitchaichvili, J.M. Pares, A recognition palaeomagnetic study of volcanic and sedimentary rocks from Dmanissi (Caucasus): implications for the oldest human occupation in Europe, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 331 (2000) 183–186.
- [5] A. Goguitchaichvili, M. Calvo, D. Sologashvili, L. Alva, J. Urrutia, Palaeomagnetism of Georgian Plio-Quaternary volcanic provinces (southern Caucasus): a pilot study, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 331 (2000) 683–690.
- [6] G. Majsuradze, E. Pavlenisvili, H.-U. Schmincke, D. Sologasvili, Paleomagnetik und Datierung der Basaltlava, Der altpaläolithische Fundplatz Dmanisi in Georgian (Kaukasus), *Jahrb. des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz, Römisch-Germanischen Zentralmuseums Forschungsinstitut für vor- und Frühgeschichte* 36 (Jahrgang 1989) (1991) 74–83.
- [7] P.R. Renne, C.C. Swisher, A.L. Deino, D.B. Karner, S.T. Owen, D.J. De Paolo, Intercalibration of standards. Absolute ages and uncertainties in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)* 145 (1998) 117–152.
- [8] M. Rubinshtein, S. Adamia, D. Devnozashvili, B. Dobrinin, L. Pozentup, Dating of some Neogene and Quaternary volcanics from Transcaucasia by geologic, radiometric and paleomagnetic data, in: *Proc. Int. Conf. on the problems of Neogene-Quaternary boundary, 1972*, pp. 162–167.
- [9] H.-U. Schmincke, P. Van Den Bogaard, Die Datierung des Masavera-Basaltlavastrom, *Jahrb. des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz, Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Forschungsinstitut für vor- und Frühgeschichte* 42 (Jahrgang 1995) (1996) 75–76.
- [10] D. Sologasvili, E. Pavlenisvili, A. Gogicajsvili, Zur Frage der Paläomagnetischen Stratigraphie einiger junger Vulkanite und Sedimentgesteine im Masavera-Becken, *Jahrb. des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz* 42 (Jahrgang 1995) (1996) 51–74.