



**HAL**  
open science

## Datation par RPE et U-TH des sites pléistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Trinchera Galería: bilan géochronologique

Christophe Falguères, Jean-Jacques Bahain, Yuji Yokoyama, James Bischoff,  
Juan Luis Arsuaga, Jose Maria Bermudez De Castro, Eudald Carbonell,  
Jean-Michel Dolo

### ► To cite this version:

Christophe Falguères, Jean-Jacques Bahain, Yuji Yokoyama, James Bischoff, Juan Luis Arsuaga, et al..  
Datation par RPE et U-TH des sites pléistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et  
Trinchera Galería: bilan géochronologique. *L'anthropologie*, 2001, 105 (1), pp.71-81. 10.1016/S0003-  
5521(01)80006-6 . hal-04718302

**HAL Id: hal-04718302**

**<https://hal.science/hal-04718302v1>**

Submitted on 8 Oct 2024

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

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

# Datation par RPE et U-TH des sites pléistocènes d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Trinchera Galería : bilan géochronologique

Christophe Falguères<sup>a</sup>, Jean-Jacques Bahain<sup>a</sup>, Yuji Yokoyama<sup>a</sup>, James L. Bischoff<sup>b</sup>, Juan Luis Arsuaga<sup>c</sup>, Jose Maria Bermudez de Castro<sup>d</sup>, Eudald Carbonell<sup>e</sup>, Jean-Michael Dolo<sup>f</sup>

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

<sup>b</sup> US Geological Survey, 345, Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, États-Unis, Espagne.

<sup>c</sup> Departamento de Paleontología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Espagne.

<sup>d</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Calle Jose Abascal, 2, 28006 Madrid, Espagne

<sup>e</sup> Universitat Rovira i Virgili, Facultats de Química i de Lletres, Imperial Tarraco, 43005 Tarragona, Espagne.

<sup>f</sup> CEA/Saclay DAMRI-LNHB, BP 52, CEA, 91193 Gif-sur-Yvette, France.

## Résumé

La Sierra de Atapuerca, près de Burgos en Espagne, abrite plusieurs gisements archéologiques et paléontologiques d'une importance majeure pour la préhistoire européenne. Deux secteurs, distants l'un de l'autre de moins de 500 m, ont livré la plupart des sites : la Trinchera del Ferrocarril et la Cueva Mayor. Le premier cité a été découvert à la faveur du creusement d'une tranchée à la fin du siècle dernier et a permis la mise au jour de plusieurs sites dont le plus important est la Gran Dolina. Le remplissage karstique de ce dernier est divisé en 11 niveaux stratigraphiques. Dans les niveaux inférieurs, des ossements humains associés à une industrie archaïque et à une faune caractéristique du Pléistocène inférieur ont été trouvés. Un deuxième remplissage nommé Galería, non loin de Dolina, a également restitué des ossements humains associés à des restes d'animaux et à une industrie lithique comprenant des bifaces. Dans la Cueva Mayor, le site de la Sima de los Huesos a fourni jusqu'à aujourd'hui près de 3 000 fossiles humains appartenant à un minimum de 32 individus, ce qui en fait la collection la plus importante et la plus complète actuellement connue dans le monde pour le Pléistocène moyen. Les datations obtenues à partir des données combinées des méthodes des séries de l'uranium et de la résonance paramagnétique électronique sur dents, ossements et calcite indiquent d'une part une très ancienne occupation humaine à Gran Dolina et d'autre part que les niveaux fossilifères de la Sima de los Huesos sont datés entre 200 et 300 ka.

## Abstract

**U-series and ESR Dating of Atapuerca Pleistocene Sites: Sima de los Huesos, Gran Dolina and Trinchera Galería.** The Sierra de Atapuerca, near Burgos in north-central Spain, contains several archaeological and fossiliferous deposits of major importance for European Prehistory. Most of the sites are grouped in two sectors: The Trinchera del Ferrocarril and the Cueva Mayor. The Trinchera, a railroad cut made into the Cretaceous limestone bedrock at the end of the last century, exposed several karst-fill deposits of which the most outstanding is the Gran Dolina. The karstic infilling of Gran Dolina is divided into 11 stratigraphical levels. The lower layers provided human remains associated to an archaic industry and a typical Early Pleistocene fauna. A second infilling named Galería has also given human bones associated with animal remains and lithic artefacts including handaxes. The Cueva Mayor is a major deep cave complex with many km of galleries. Within the Cueva Mayor is the site of the Sima de los Huesos that yielded about 3,000 human remains belonging to a minimum of 32 individuals. This deposit is the most complete and important collection known in the world for the Middle Pleistocene. The dating results obtained from combined U-series and ESR methods on teeth, bones and calcite of these sites indicate a very ancient human occupation in Gran Dolina and on the other hand that fossiliferous levels of la Sima de los Huesos are dated between 200 and 300 ka.

## Mots-clé

Pléistocène inférieur et moyen, séries de l'uranium, résonance paramagnétique électronique, Atapuerca

## Keywords

Lower and Upper Pleistocene, U-series, ESR, Atapuerca

## 1. Introduction

La Sierra de Atapuerca est située dans le nord de l'Espagne à 15 km à l'est de Burgos. Les premiers témoignages d'une occupation humaine préhistorique ont été mentionnés dès 1863. Depuis, plusieurs sites archéologiques et paléontologiques ont été découverts dans le karst de cette région, dans deux secteurs distants l'un de l'autre de 500 m environ : la Trinchera del Ferrocarril et la Cueva Mayor (Carbonell et al., 1999a), (figure 1).



Figure 1. Localisation des différents sites de la Sierra de Atapuerca, Espagne.

Figure 1. Location of the main sites at Sierra de Atapuerca, Spain

A la fin du siècle dernier, le creusement d'une tranchée pour faire passer un train a permis la découverte de sédiments riches en matériel archéologique et paléontologique dans le premier secteur cité. Le plus important de ces gisements est la Gran Dolina, TD, dans lequel des restes humains très anciens, associés à une industrie archaïque (Mode 1) et à une faune caractéristique du Pléistocène inférieur, ont été découverts (Carbonell et al., 1995). Ces restes humains ont été trouvés en stratigraphie sous une couche dans laquelle une inversion paléo-magnétique a été observée et attribuée à la limite Matuyama-Brunhes.

Un peu plus au sud, le remplissage complexe de Galería s'étend sur plus de 15 m avec une épaisseur maximale de 17 m. Un fragment de crâne humain (Arsuaga et al., 1999) a été découvert associé à une industrie du Paléolithique inférieur (Mode 2) et à une faune du Pléistocène moyen. Un fragment de mandibule a également été trouvé dans les sédiments remaniés de la Covacha de los Zarpazos.

A 100 m environ au sud affleure le remplissage de la Sima del Elefante, TE, également très riche en restes fossiles. Une étude récente mettant en évidence une nouvelle espèce de rongeur, place le complexe inférieur de ce remplissage à la fin du Pléistocène inférieur (Laplana et Cuenca-Bescos, 2000).

Le deuxième secteur correspond à la Cueva Mayor dans laquelle la Sima de los Huesos, SH, a livré plus de 3 000 ossements fossiles humains appartenant à un minimum de 32 individus (Arsuaga et al., 1997). C'est une petite cavité qui s'ouvre à la base d'un conduit vertical, situé dans l'une des galeries de la Cueva Mayor. De nombreux restes de carnivores, principalement d'ursidés, ont également été trouvés dans les couches fossilifères. Plusieurs planchers stalagmitiques sont en relation stratigraphique avec les dépôts qui contiennent les ossements.

Cet article présente les datations obtenues à partir des méthodes de la résonance paramagnétique électronique (RPE) et des séries de l'uranium (U-Th) sur différents types d'échantillons tels que dents, ossements et calcites prélevés dans ces sites afin d'essayer d'établir une chronologie des différents remplissages archéologiques. La méthode RPE est fondée sur l'accumulation d'électrons non appariés piégés, sous l'effet de la radioactivité naturelle, dans les défauts des minéraux (Ikeya, 1993). La méthode fondée sur les déséquilibres dans les familles de l'uranium est appliquée dans le domaine de la préhistoire depuis une quarantaine d'années (Ivanovich et Harmon, 1992). Les calcites sont en général bien cristallisées et fonctionnent en système clos. En revanche, pour les dents et les ossements, les deux méthodes sont dépendantes du mode d'incorporation de l'uranium. Plusieurs modèles mathématiques ont été proposés pour décrire les effets de l'accumulation de l'uranium. C'est le cas du modèle d'incorporation précoce, EU (Bischoff et Rosenbauer, 1981), du modèle d'incorporation linéaire, LU (Ikeya, 1982) pour ne citer que les modèles les plus simples. En combinant les données des méthodes RPE et U-Th, il est possible de déterminer l'histoire de l'incorporation de l'uranium en utilisant un paramètre  $p$  d'incorporation (Grün et al., 1988).

## 2. Gran Dolina

Le remplissage de Gran Dolina, épais de 18 m, se divise en 11 niveaux stratigraphiques, TD1 à TD11. La base (TD 1 et TD2) correspond à un dépôt interne dans les conditions d'une grotte fermée. Au-dessus, de TD3-4 à TD11, les dépôts sont constitués principalement par un apport externe. Dans TD6 et plus particulièrement dans la strate Aurora, 84 restes humains appartenant à six individus ont été exhumés. Ces fossiles ont permis de définir une nouvelle espèce appelée *Homo antecessor* (Bermudez de Castro et al., 1997). La figure 2 montre les données obtenues à partir des différentes disciplines. Les données magnéto-stratigraphiques ont mis en évidence une inversion de la polarité magnétique dans TD7, située stratigraphiquement un mètre au-dessus de TD6, suggérant un âge supérieur à 780 ka pour ces restes humains (Pares et Perez-Gonzales, 1995). Ces derniers sont associés à une industrie lithique composée de 268 pièces présentant une technologie de type Mode 1 (tradition oldowayenne) (Carbonell et al., 1999b), et un assemblage faunique incluant de nombreux herbivores (Van der Made, 1999), carnivores (Garcia et Arsuaga, 1999), et rongeurs dont *Mimomys savini* (Cuenca-Bescos et al., 1999).

# Gran Dolina TD (Atapuerca, Espagne)

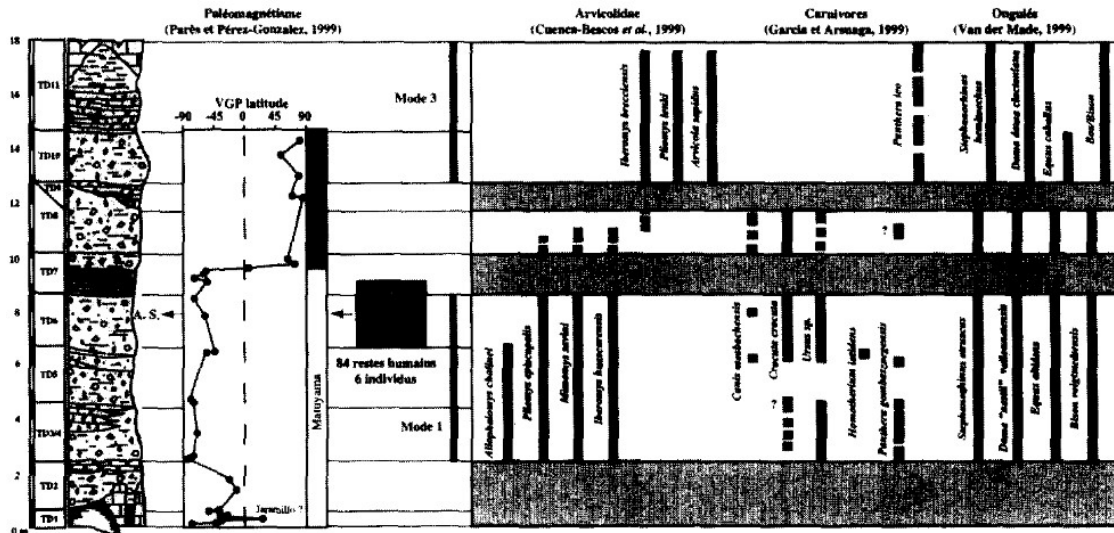


Figure 2. Principales données obtenues à partir de différentes disciplines sur le site de Gran Dolina, Espagne.

Figure 2. Main data provided by different studies on Gran Dolina, Atapuerca, Spain.

Afin de préciser la chronologie du site, plusieurs dents de grands herbivores ont été analysées de façon conjointe mais indépendante par les méthodes RPE et U-Th (Falguères et al., 1999). Les datations ont été effectuées sur des échantillons provenant des niveaux TD6, TD8, TD10 et TD11.

La figure 3 présente les âges obtenus et indique que les résultats sont cohérents et reproductibles pour chaque couche. De plus, les âges croissent en fonction de la profondeur des couches. Des âges de  $337 \pm 51$  ka,  $379 \pm 57$  ka et  $418 \pm 63$  ka (âge moyen pondéré de  $372 \pm 33$  ka) pour TD10, et  $308 \pm 46$  ka,  $332 \pm 50$  ka et  $390 \pm 59$  ka (âge moyen pondéré de  $337 \pm 29$  ka) pour TD11 sont cohérents entre eux si l'on tient compte des domaines d'erreur. Ils suggèrent une sédimentation rapide pour ces niveaux et une corrélation avec les stades isotopiques 9 à 11. Pour TD8, les âges sont de  $586 \pm 88$  ka,  $606 \pm 91$  ka et  $615 \pm 92$  ka (âge moyen pondéré de  $602 \pm 52$  ka). Ces résultats suggèrent que TD8 s'est formé au cours d'une période contemporaine du stade isotopique 15. Les dents de TD6 donnent des âges de  $770 \pm 116$  ka,  $762 \pm 114$  ka et  $676 \pm 101$  ka. La présence de la polarité négative pour cette couche indique un âge supérieur à 780 ka. La combinaison de ces données indique que l'âge de TD6 est compris entre 780 et 857 ka (2 sigma d'erreur sur l'âge moyen pondéré).

Ces résultats indiquent une occupation humaine de 800 à 300 ka pour Gran Dolina. Ils renforcent l'idée selon laquelle les premiers peuplements se sont installés dès le Pléistocène inférieur en Europe occidentale.

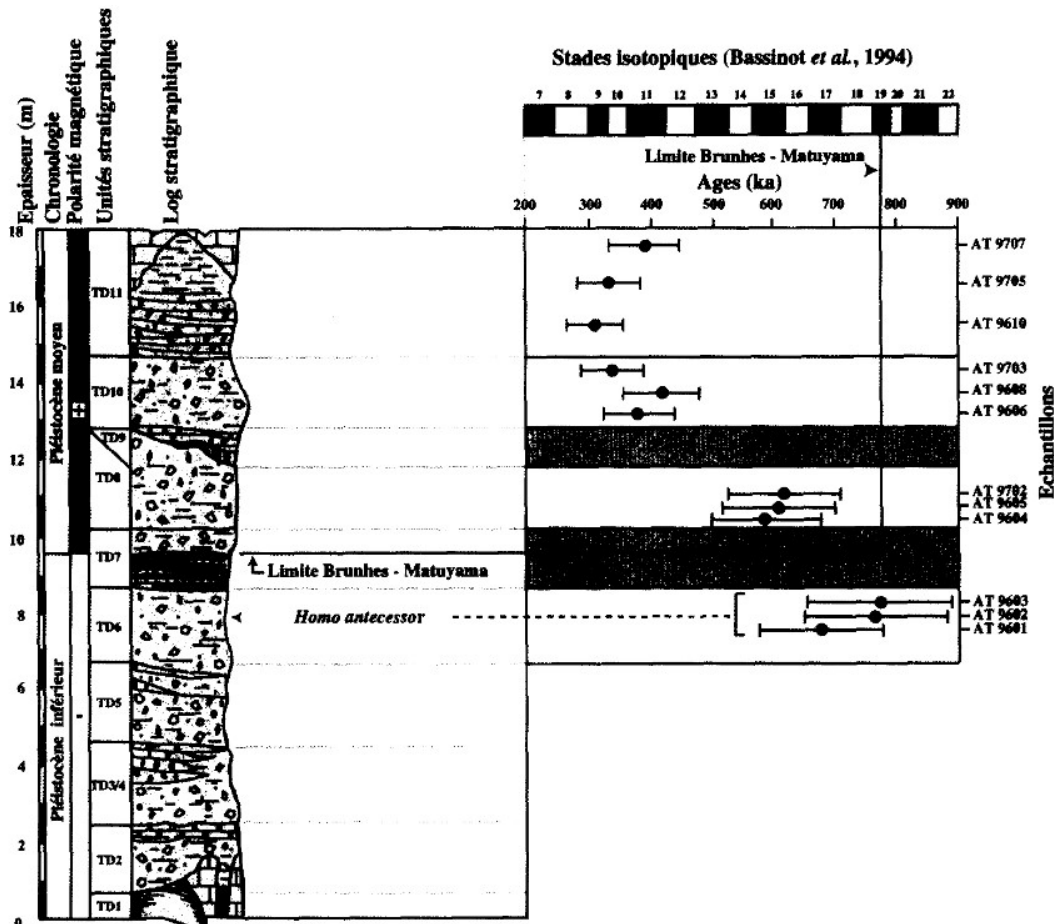


Figure 3. Ages RPE / U-Th combinés avec des erreurs de  $\pm 15\%$ , obtenus sur dents fossiles de TD6 à TD11 par rapport aux stades isotopiques de l'oxygène (Bassinot et al., 1994). Les régions ombrées correspondent aux couches archéologiquement stériles (TD7 et TD9).

Figure 3. Combined ESR-U-series ages with errors ( $\pm 15\%$ ) of fossil teeth from TD6 to TD11 in relation to oxygen isotope stages taken from Bassinot et al. (1994). Shaded regions correspond to archaeologically sterile layers (TD7 and TD9)

### 3. Galería

Le complexe de Galería est divisé en trois secteurs selon les dynamiques sédimentaires observées (Ortega, 1999) :

- le secteur principal et central dénommé Galería, TG, correspond à une galerie karstique sub-horizontale dans laquelle cinq phases de dépôt, essentiellement clastiques, ont été individualisées (GI à GV) ;
- au nord, la Cueva de los Zarpazos, TZ, présente un remplissage qui correspond vraisemblablement à la partie supérieure de celui de Galería, TG ;
- au sud, trois remplissages forment le complexe de Tres Simas, TS. Celui qui est situé le plus au nord est un remplissage de conduit vertical appelé Trinchera Norte, TN, (figure 1).

Le fragment de crâne humain a été découvert à la base de l'ensemble GIII (couche TG11). Le fragment de mandibule humaine, trouvé dans les sédiments à l'entrée de TZ, a été découvert en 1976 lors de fouilles antérieures. Bien que sa position stratigraphique ne soit pas connue avec exactitude, Rosas et Bermudez de Castro (1999) replacent ce fossile dans GII et lui attribuent un âge plus ancien que 250 ka.

Plusieurs échantillons de calcite ont fait l'objet de datation. Dans TG, le plancher stalagmitique supérieur qui ferme le remplissage (au-dessus de TG12) a été daté par RPE de  $211 \pm 32$  ka et de  $177 \pm 23$  ka respectivement par Falguères (1986) et par Grün et Aguirre (1987). Dans TZ, un fragment du plancher stalagmitique qui est situé au sommet du remplissage a donné un âge de  $222 \pm 31$  ka. Enfin, un échantillon provenant du plancher stalagmitique supérieur de Tres Simas, TS (qui correspond à la base de TG11) a été daté par RPE de  $256 \pm 33$  ka (Falguères, 1986). Les âges suggèrent que ces trois échantillons sont contemporains et qu'ils ont pu se former au cours du stade isotopique 7. Ils permettent aussi d'attribuer un âge minimum au remplissage archéologique de Galería.

#### 4. Sima de los Huesos

De très nombreux restes humains et d'ours, ainsi que d'autres carnivores en nombre plus réduit (voir Garcia et al., 1997), et quelques rongeurs ont été recueillis dans le remplissage de la Sima de los Huesos (Cuenca-Bescos et al., 1997).

La figure 4 présente une coupe stratigraphique synthétique du site (d'après Arsuaga et al., 1997). A la base, des argiles marneuses stériles sur lesquelles reposent des argiles stériles. Viennent ensuite les argiles fossilifères recouvertes en partie par des argiles stériles notamment dans la Rampa. Ce dépôt est scellé par une croûte stalagmitique au niveau de la Rampa et au niveau de la zone B des fouilles (CPV). Au sommet, des sédiments remaniés sont partiellement recouverts par des couches de guano de chauve-souris. Au niveau de la zone A des fouilles, les argiles sont en contact irrégulier avec des sables et limons qui semblent reposer sur les argiles marneuses de base. Les premiers restes humains ont été découverts en 1976 (Aguirre et al., 1976). Aujourd'hui, plus de 3 000 restes humains ont été exhumés ce qui représente la collection la plus importante de fossiles humains découverts dans un site pour la période du Pléistocène moyen.

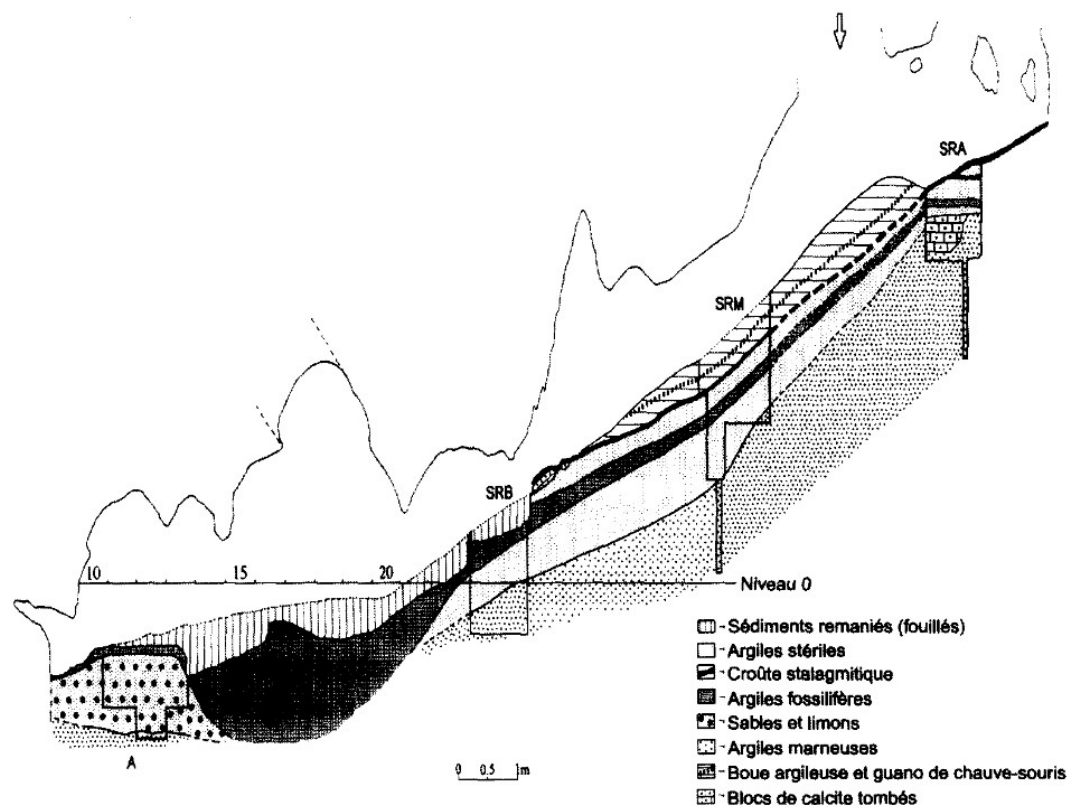


Figure 4. Coupe synthétique de la Sima de los Huesos à Atapuerca (d'après Arsuaga et al., 1997).

Figure 4. Schematic section of Sima de los Huesos, Atapuerca, Spain (according to Arsuaga et al., 1997).

Plusieurs types d'échantillons ont été analysés par différentes méthodes de datation (Bischoff et al., 1997). De nombreux échantillons de calcite ont été analysés par U-Th et  $^{14}\text{C}$  (figure 5). Les fragments prélevés dans les zones A et B ainsi que dans SRB, au bas de la Rampa, présentent tous un équilibre isotopique indiquant un âge supérieur à 350 ka. Cependant, ces fragments ne sont pas en position stratigraphique originelle. Les échantillons recouvrant la Rampa (plancher stalagmitique appelé colada) donnent des âges compris entre 90 et 200 ka (en prenant en compte les domaines d'erreur). Les rapports isotopiques indiquent que ces échantillons sont contaminés par du thorium exogène ce qui diminue la fiabilité des résultats. Enfin, un échantillon provenant de la croûte stalagmitique CPV donne un âge compris entre 60 et 110 ka. Mais il est également contaminé.

### Calcite

	U-Th	$^{14}\text{C}$	Remarques
Colada spéothème			$^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th} < 3$
SRA			
SRM	46-180	18-21	
SRB	132-200	17-18	
Colada os renard	23-27	25	
CPV calcite	62-112		$^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th} < 4$
os ours	53-131		
Fragments calcite			Incertitude stratigraphique
- dans SRB	> 350		
- dans Zone A	> 350		
- dans Zone B	> 350		

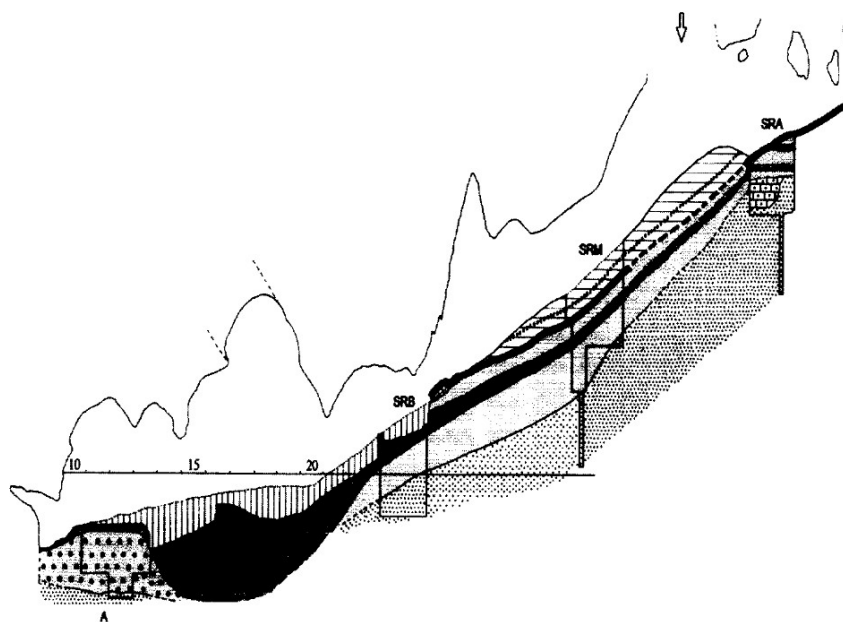


Figure 5. Localisation et résultats des échantillons de calcite analysés à la Sima de los Huesos, Atapuerca.

Figure 5. Location and results of calcite samples analyzed at Sima de los Huesos.



La figure 6 représente la localisation et les résultats des restes humains analysés par les méthodes fondées sur les déséquilibres dans les familles de l'uranium (spectrométries alpha et gamma, et spectrométrie de masse par thermo- ionisation, TIMS). Les âges obtenus par TIMS dans les zones A et B sont compris entre 108 et 221 ka. Ils sont en contradiction avec l'âge obtenu par spectrométrie gamma non destructive sur l'un des premiers fossiles découverts, AT75, de  $320 \pm 233 / -73$  ka (U-Th) et supérieur à 175 ka par U-Pa (Yokoyama, 1989).

### Restes humains

	U-Th	U-Pa	TIMS	Remarques
AT75	$320^{+233}_{-73}$	>175		Spectrométrie $\gamma$
Zone A	142		124-128	Système ouvert
Zone B	---		108-221	Système ouvert
Remanié	177		80-155	Incertitude stratigraphique

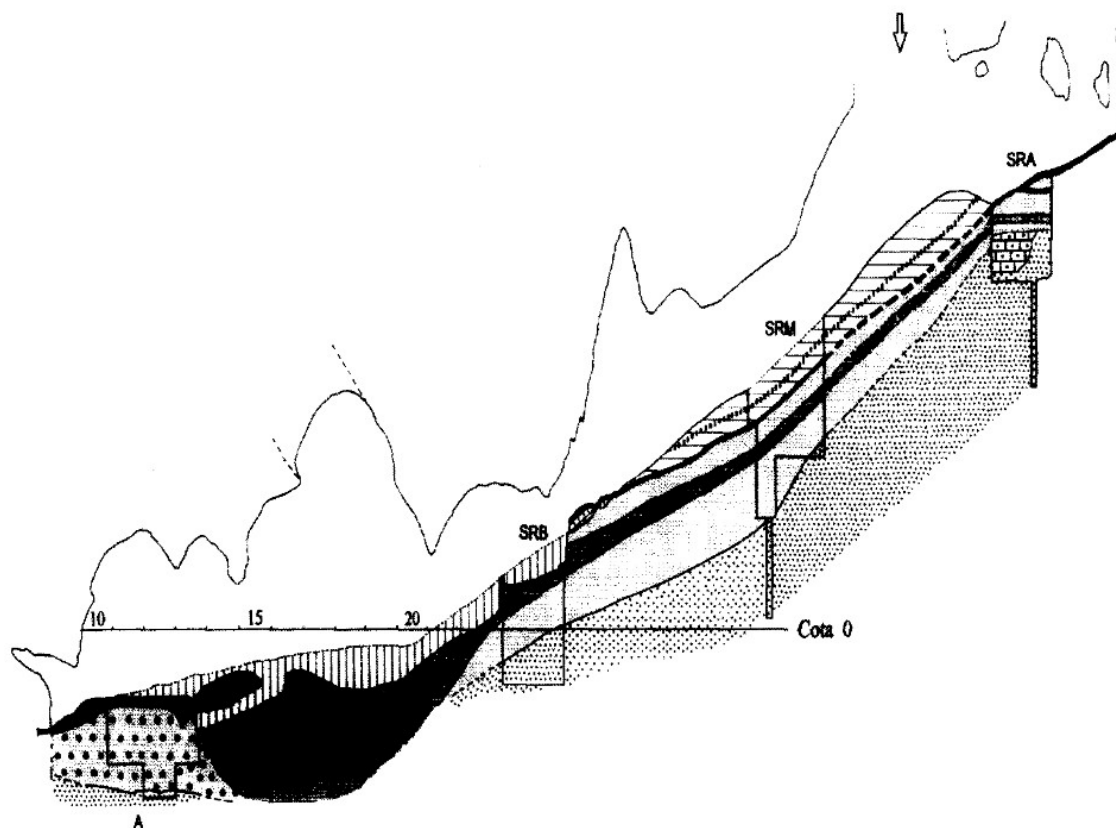


Figure 6. Localisation et résultats des échantillons de restes humains analysés à la Sima de los Huesos, Atapuerca.

Figure 6. Location and results of human remains samples analyzed at Sima de los Huesos.

Enfin, des analyses combinées (RPE et U-Th) sur ossements et dents d'ours provenant de la zone B (figure 7) ont donné des âges compris entre 200 et 300 ka. Ces données suggèrent que les ours sont entrés dans la grotte il y a plus de 300 ka et l'ont fréquentée pendant près de 100 ka. D'autre part, les relations stratigraphiques mettent en évidence que les hommes ont « fréquenté » la grotte avant les ours.

## Restes d'ours

Zone B	U-Th	ESR		Ages combinés	Remarques
		EU	LU		
Dents	95 -> 350	---	---	---	
Os	128-240	182-228	267-337	195-323	
	142-240	182-194	267-298	195-216	> âges EU
	128-136	219-228	333-337	315-323	> âges LU

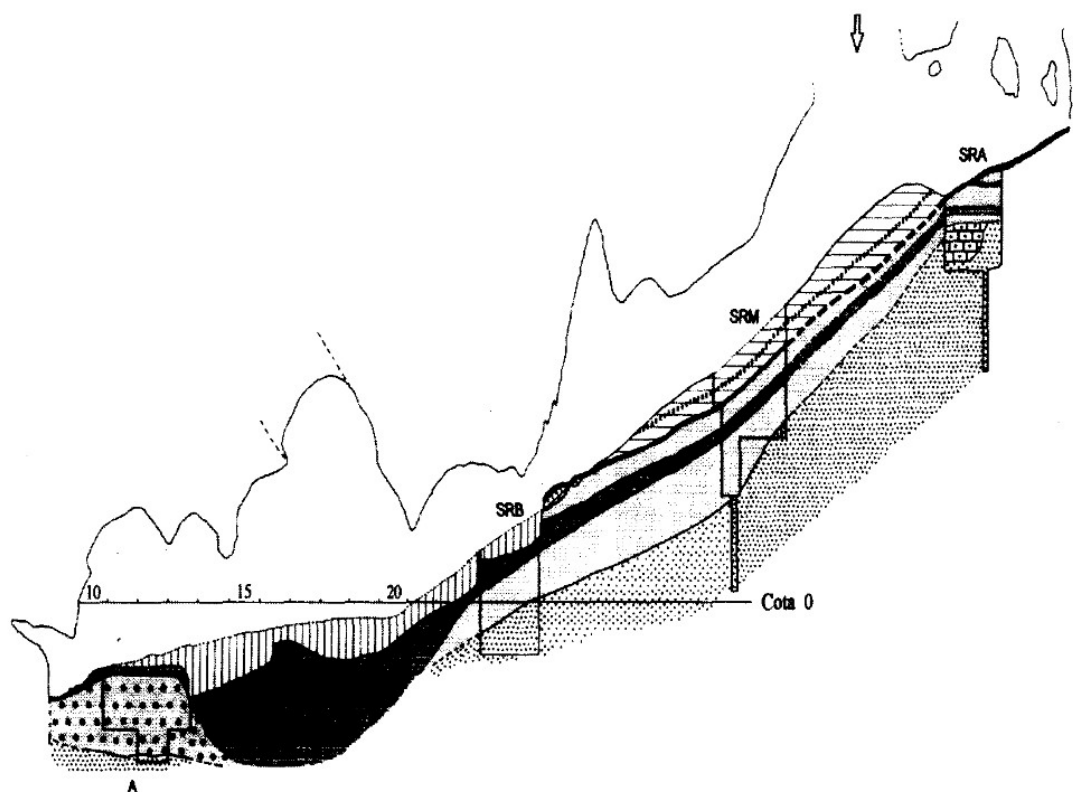


Figure 7. Localisation et résultats des échantillons d'ours analysés à la Sima de los Huesos, Atapuerca.  
 Figure 7. Location and results of bear samples (bones and teeth) analyzed at Sima de los Huesos.

## 5. Conclusion

Les remplissages archéologiques de la Trinchera (Dolina et Galeria) ne peuvent pas être mis en relation stratigraphique avec celui de la Sima de los Huesos. Les dates obtenues sur Gran Dolina ont permis de proposer et confirmer un âge plus ancien que 800 ka pour TD6 ce qui confirme que les hommes se sont installés dès le Pléistocène inférieur dans cette région. D'autre part, la période d'occupation couvre une longue période du Pléistocène moyen jusqu'à 300 ka environ.

A la Sima de los Huesos, les couches fossilifères sont datées entre 200 et 300 ka, ce qui correspond à une période d'occupation légèrement plus récente que celle des couches supérieures de Gran Dolina (TD10 et TD11).

Enfin, les âges obtenus sur les calcites de Galeria suggèrent que le remplissage archéologique s'est déposé avant 250 ka et notamment les couches qui contiennent les industries à bifaces. Les datations par

U-Th et RPE combinées effectuées sur des dents d'herbivores sont en cours et permettront de caler directement ces couches à industrie qui contiennent également les restes humains.

## Remerciements

Nous remercions Bernard Morin (SIARE université Paris VI) et Nadir Mehidi pour leur aide au cours de cette étude, et Veronique Michel pour ses conseils lors de la préparation des échantillons. La région Ile-de-France a financé l'achat du spectromètre RPE utilisé au cours de cette étude.

## Références

- Aguirre, E., Basabe, J.M., Torres, T., 1976. Los fósiles humanos de Atapuerca. *Zephyrus* 26-27, 489-511.
- Arsuaga, J.L., Gracia, A., Lorenzo, C., Martínez, I., Pérez, P.J., 1999. Resto craneal humano de Galería/Cueva de los Zarpazos (Sierra de Atapuerca). In : Carbonell, E., Rosas, A., Diez, J.C. (Eds.), *Atapuerca : Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Memorias de Junta de Castilla y León, vol. 7. pp. 233-235.
- Arsuaga, J.L., Martínez, I., Gracia, A., Carretero, J.M., Lorenzo, C., García, N., Ortega, A.L., 1997. Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). The site. *Journal of Human Evolution* 33, 109-127.
- Bassinot, F.C., Labeyrie, L., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J., Lancelot, Y., 1994. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planetary Science Letter* 126, 91-108.
- Bermudez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., Rosas, A., Martínez, I., Mosquera, M., 1997. A hominid from the Lower Pleistocene of Atapuerca, Spain : possible ancestor to Neandertals and Modern Humans. *Science* 276, 1392-1395.
- Bischoff, J.L., Fitzpatrick, J.A., Leon, L., Arsuaga, J.L., Falguères, C., Bahain, J.J., Bullen, T., 1997. Geology and preliminary dating of the hominid-bearing sedimentary fill of the Sima de los Huesos chamber, Cueva Mayor of the Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain. *Journal of Human Evolution* 33, 129-154.
- Bischoff, J.L., Rosenbauer, R.J., 1981. Uranium-series dating of human skeletal remains from the Del Mar and Sunnyvale sites, California. *Science* 213, 1003-1005.
- Carbonell, E., Bermudez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Diez, J.C., Rosas, A., Cuenca-Bescos, G., Sala, R., Mosquera, M., Rodríguez, X.P., 1995. Lower Pleistocene hominids and artifacts from Atapuerca-TD6 (Spain). *Science* 269, 826-830.
- Carbonell, E., Esteban, M., Martín Najera, A., Mosquera, M., Rodríguez, X.P., Olle, A., Sala, R., Verges, J.M., Bermudez de Castro, J.M., Ortega, A.I., 1999a. The Pleistocene site of Gran Dolina, Sierra de Atapuerca, Spain : a history of the archaeological investigations ". *Journal of Human Evolution* 37, 313-324.
- Carbonell, E., García-Anton, M.D., Mollol, C., Mosquera, M., Olle, A., Rodríguez, X.P., Sahnouni, M., Sala, R., Verges, J.M., 1999b. The TD6 level lithic industry from Gran Dolina, Atapuerca (Burgos, Spain) : Production and use. *Journal of Human Evolution* 37, 653-693.
- Cuenca-Bescos, G., Laplana, C., Canudo, J.I., Arsuaga, J.L., 1997. Small mammals from Sima de los Huesos. *Journal of Human Evolution* 33, 175-190.
- Cuenca-Bescos, G., Laplana, C., Canudo, J.I., 1999. Biochronological implications of the Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) from the Lower Pleistocene hominid-bearing level of Trinchera Dolina 6 (TD6, Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 37, 353-373.
- Falguères, C., 1986. Datations de sites acheuléens et moustériens du midi méditerranéen par la méthode de résonance de spin électronique. Thèse du Museum national d'histoire naturelle, Paris.

- Falguères, C., Bahain, J.J., Yokoyama, Y., Arsuaga, J.L., Bermudez de Castro, J.M., Carbonell, E., Bischoff, J.L., Dolo, J.M., 1999. Earliest humans in Europe: the age of TD6 Gran Dolina, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 37, 343-352.
- García, N., Arsuaga, J.L., Torres, T., 1997. The carnivore remains from the Sima de los Huesos Middle Pleistocene site (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 33, 155-174.
- García, N., Arsuaga, J.L., 1999. Carnivores from the Early Pleistocene hominid-bearing Trinchera Dolina 6 (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 37, 415-430.
- Grün, R., Aguirre, E., 1987. Datación por ESR y por la serie del U, en los depósitos cársticos de Atapuerca. In: Aguirre, E., Carbonell, E., Bermudez de Castro, J.M. (Eds.), *El Hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca I*. Valladolid, Junta de Castilla y León, pp. 201-204.
- Grün, R., Schwarcz, H.P., Chadam, J., 1988. ESR dating of tooth enamel: coupled correction for U-uptake and U-series disequilibrium. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 14, 237-241.
- Ikeya, M., 1982. A model of linear uranium accumulation for ESR age of Heidelberg (Mauer) and Tautavel bones. *Japanese Journal of Applied Physics* 22, L763-L765.
- Ikeya, M., 1993. *New applications of electron Spin Resonance dating, dosimetry and microscopy*. Singapore, World Scientific.
- Ivanovich, M., Harmon, R.S., 1992. *Uranium-series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*, 2nd Edition. Oxford, Clarendon Press.
- Laplana, C., Cuenca-Bescos, G., 2000. Una nueva especie de *Microtus (Allophaiomys)* (Arvicolidae, Rodentia, Mammalia) en el Pleistoceno inferior de la Sierra de Atapuerca (Burgos, España). *Revista Española de Paleontología* 15, 77-87.
- Made, J. van der, 1999. Ungulates from Atapuerca TD6. *Journal of Human Evolution* 37, 389-413.
- Ortega, A.I., 1999. El yacimiento de Galería (Sierra de Atapuerca). *Cronica de una intervención*. In: Carbonell, E., Rosas, A., Diez, J.C. (Eds.), *Atapuerca : Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Memorias de Junta de Castilla y León, vol. 7. pp. 13-17.
- Pares, J.M., Perez-Gonzales, A., 1995. Palaeomagnetic age for hominid fossils at Atapuerca archaeological site, Spain. *Science* 269, 830-832.
- Rosas, A., Bermudez de Castro, J.M., 1999. Descripción y posición evolutiva de la mandíbula AT76-TIH del yacimiento de Galería (Sierra de Atapuerca). In: Carbonell, E., Rosas, A., Diez, J.C. (Eds.), *Atapuerca : Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Memorias de Junta de Castilla y León, Vol.7. pp. 237-243.
- Yokoyama, Y., 1989. Direct gamma-ray spectrometric dating of Anteneandertalian and Neandertalian human remains. *Hominidae. Proceedings of the second International Congress of Human Palaeontology*. Milan, Jaca Book, pp. 387-390.