

# Datations d'un dépôt de guano holocène dans les Carpates méridionales (Roumanie). Implications tectoniques

*Bat guano deposit Holocene datings in the south Carpathian Mountains (Romania). Tectonic implications*

Jean-Pierre Carbonnel<sup>a\*</sup>, Philippe Olive<sup>b</sup>, Vasil G. Decu<sup>c</sup>, Didier Klein<sup>d</sup>

<sup>a</sup> UMR 7619, université Paris-6, case 123, 75252 Paris cedex 05, France

<sup>b</sup> Centre de recherches géodynamiques, université Paris-6, 74203 Thonon-les-Bains, France

<sup>c</sup> Institut de spéléologie « Emile-Racovitza », 74114 Bucarest, Roumanie

<sup>d</sup> Université de Franche-Comté, BP 427, 25211 Montbéliard cedex, France

(Reçu le 25 décembre 1998, accepté après révision le 9 février 1999)

**Abstract** — Two <sup>14</sup>C datings in a 2.5 m thick bat guano deposit indicate the Boreal period for the beginning of the deposit. The bat colony of the cave of Adam (Pestera lui Adam, Baile Herculane, south Carpathian Mountains) is one of the oldest permanent bat colonies in Europe, probably established just after the last Ice Age. Evidence of palaeo-seismic activity inside the guano deposit allow a chronology of regional seismic events during the Holocene Period to be drawn up. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

**karst / guano / <sup>14</sup>C datings / Holocene / palaeoseismic activity / Romania**

**Résumé** — Deux datations par le radiocarbone d'un dépôt de guano de 2,5 m d'épaisseur permet d'en fixer le début pendant la phase boréale. La grotte d'Adam (Pestera lui Adam, Baile Herculane, Carpates méridionales) héberge une des plus anciennes colonies permanentes de chiroptères d'Europe, qui s'y serait peut-être établie dès la fin du dernier épisode glaciaire. Des témoins de paléo-tremblements de terre au sein du guano permettent de fournir une première chronologie des événements sismiques régionaux au cours de l'Holocène. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

**karst / guano / datations radiocarbone / Holocène / paléoséismes / Roumanie**

## Abridged version

The Adam Cave (Pestera lui Adam) in Cerna Valley (near Baile Herculane, south Carpathian Mountains, Romania) is a special biotope with a constant temperature (28–30 °C) and very high humidity. A large bat colony (the main one is *Rhinolophus euryale*) remains in the cave from April–May to October each year. These “tropical” conditions are due to very important gas emissions of deep hydrothermal origin (Decu et al., 1974, 1976).

A 2.5-m-deep excavation in the guano deposit permits observation of a non-homogeneous stratification (Povara et al., 1972). From the top to the bottom of the deposit one observes: about 0.5 m of granular guano with some sporadic small limestone intercalations; 0.5 m of pulverulent guano; 0.45 m of pulverulent guano with limestone fragments; 0.35 m with large limestone pieces mixed with guano; a 0.05 m layer of limestone pieces and more than 0.50 m of pasty guano.

Note présentée par Ghislain de Marsily.

\* Correspondance et tirés à part.

The radon content of the Adam Cave is studied with 14 SSNT (Solid State Nuclear Tracks) detectors (Klein, 1990) which were left in the cave for two months. The radon contents vary from 1754 to 5514 Bq/m<sup>3</sup> with an average of  $3\,093 \pm 1\,059$  Bq·m<sup>-3</sup> ( $N=13$ ), the radon content outside the cave being equal to 42 Bq·m<sup>-3</sup>. These radon values and the high temperature of gas emanations (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.) are the present-day remains of evidence of regional seismic activity (Heinicke et al., 1994). Limestone fragments in guano can be interpreted as the results of broken stalagmites falling because of palaeo-earth tremors.

The <sup>13</sup>C content of CO<sub>2</sub> of air near the guano is  $\approx 23$  ‰, which is the result of mixing of  $\approx 80$  % of CO<sub>2</sub>, including 26 % from guano mineralization and 20 % of atmospheric CO<sub>2</sub>, including  $\approx 8$  ‰.

Two guano samples from depths of 1.20 and 2.5 m give <sup>14</sup>C datings as follows: 910–810 BC and 6470–6360 BC. These datings give two different rates of mean annual sedimentation: 0.44 mm·yr<sup>-1</sup> between the surface and -1.2 m and 0.23 mm·yr<sup>-1</sup> between -1.2 and -2.5 m. The difference in sedimentation rates can be explained by the phenomenon of compaction and diagenesis with time.

These <sup>14</sup>C guano datings are the first published in Europe and it is important to develop this kind of approach to study these sedimentary records.

## 1. Introduction

Les dépôts de guano, comme tout dépôt sédimentaire carboné, constituent des « archives » historiques importantes pour la compréhension et la reconstitution des environnements qui les ont vu naître. Or, rares sont les dépôts qui sont restés intacts au cours du temps, soit qu'ils aient subi des perturbations par l'exploitation humaine ou par les variations des conditions physiques des cavités karstiques, soit que les colonies de chauves-souris ne soient restées que peu de temps dans leur habitat, soit encore que les grottes aient été livrées au tourisme.

La Roumanie possède un domaine karstique important, parmi les premiers en Europe à avoir été étudiés et explorés systématiquement. Parmi les nombreuses grottes du pays, la grotte d'Adam (« Pesteră lui Adam ») est certainement l'une des plus originales, par ses conditions climatiques et son contenu faunistique. Signalée pour la première fois en 1967, elle fut l'objet de travaux de recherche depuis 1970, principalement dans le domaine de la biologie. Depuis le début de 1997, l'étude de cette grotte a été poursuivie par une équipe pluridisciplinaire de scientifiques français et roumains.

## 2. La grotte d'Adam (vallée de la Cerna, Carpates méridionales)

Située à 135 m au-dessus du thalweg de la rivière Cerna, affluent du Danube, au niveau de la station thermique de Baile Herculane, la grotte d'Adam présente tous les caractères d'une cavité karstique, actuellement non fonctionnelle, influencée par des venues de vapeurs chau-

The chronological scale (*figure*) established from these datings proves that:

- a bat colony has inhabited the Adam Cave since the *Boreal Period* and maybe since the end of last Ice Age, i.e. around 9 000 BC, during the transition between 'Tardiglaciaire' and Holocene. This climatic phase corresponds to the establishment of present-day climatic conditions;
- the main periods of seismic activity corresponding to the layers with limestone fragments are as follows: around 4 300 BC, between 1 950 and 2 950 BC, and during the last millenium; a seismically quiet period took place before 4 300 BC and during the first millenium A.D.

The Adam deposit is a very important and complete remnant for the reconstitution of Holocene environmental evolution in the Carpathian region. The guano deposits are historical records like peat bog deposits and are equally rich in information. They need to be protected and studied with precision, mainly with a palynological point of view.

Certainly other European bat colonies exist. The need to list these colonies is now urgent: they are in danger of disappearing as more and more caves are opened to tourists.

des d'origine hydrothermale. La grotte se développe sur environ 250 m de long, avec un dénivelé de 25 m. Elle est située 250 m à l'aplomb au-dessus des principales sources thermales chaudes de la région. Sa description physique, sa cartographie (Povara, et al., 1972) et ses biocénoses particulières (Décu et al., 1974 ; 1976) ont été étudiées ; nous ne retiendrons ici que les seuls éléments intéressant nos analyses.

La grotte d'Adam possède un microclimat spécifique, lié à des venues permanentes de vapeurs chaudes d'origine hydrothermale (avec CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, radon en particulier), qui maintiennent une humidité relative proche de la saturation et une température constante (28 à 30 °C) toute l'année au sein d'une de ses cavités, appelée « Galerie à guano ». Cette salle est occupée par une vaste colonie composite de chauves-souris, comprenant : *Rhinolophus euryale* (espèce dominante), *Rh. ferrum-equinum*, *Myotis myotis*, *Miniopterus schreibersi* et *M. oxygnathus* ; cette colonie est apparemment bien adaptée à ces conditions climatiques, qui ont créé une véritable « oasis » de caractère tropical en plein milieu de la zone tempérée continentale européenne.

Un sondage effectué en 1972 (Povara et al., 1972) dans l'amas de guano de cette salle a permis de recouper 2,5 m de dépôts et de supposer qu'ils se continuaient au-delà de cette épaisseur.

La stratigraphie de ce remplissage s'établit ainsi, de haut en bas (*figure 1*) :

- 0–0,5 m : guano d'aspect granulaire, avec quelques intercalations de débris calcaires
- 0,5–1,0 m : guano pulvérulent,
- 1,0–1,45 m : guano pulvérulent à intercalations calcaires,

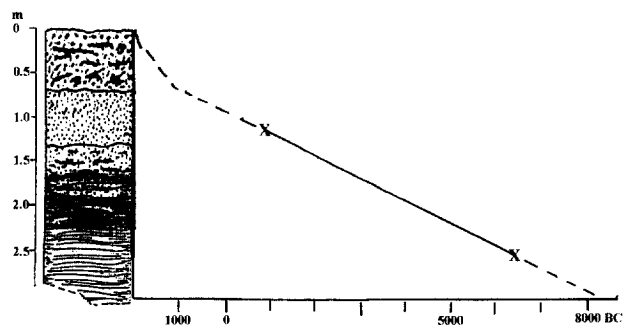


Figure. Échelle chronologique du sondage de guano de la grotte d'Adam (« Petchera lui Adam », Carpates méridionales, Roumanie).

Time scale of Adam Cave guano deposit (south Carpathian Mountains, Romania).

1,45–1,75 m : importantes concentrations de débris calcaires mélangés avec du guano,

1,75–1,95 m : guano compact plus ou moins thixotropique,

1,95–2,00 m : forte concentration de débris calcaires,

2,00–2,50 m : guano pâteux fortement thixotropique.

Malgré la présence de débris calcaires fortement corrodés, la coupe contient du guano sur toute son épaisseur, ce qui tend à prouver que la grotte a été occupée en permanence par des colonies de chauves-souris. Les débris calcaires proviennent de la chute de stalactites formées à l'aplomb du dépôt de guano. Dans une zone aussi fortement sismique que la chaîne des Carpates, ils ne peuvent être que le résultat de paléo-tremblements de terre ; leurs occurrences dans la coupe de guano seraient les témoins successifs de leurs manifestations, constituant ainsi un enregistrement intéressant de ces dernières. La zone de Baile Herculane est d'ailleurs parcourue d'un véritable réseau de failles et fractures qui ont favorisé, dès la fin du Crétacé, la formation et le développement, dans les calcaires de la région, d'un large réseau karstique, dont la grotte d'Adam est un exemple (Povara et al., 1972).

### 3. Échantillonnage et mesures $^{13}\text{C}$ , $^{14}\text{C}$ et radon

Deux échantillons de guano, provenant de niveaux situés à 1,2 et 2,5 m de profondeur du sondage effectué en 1972, ont été prélevés en vue d'une datation  $^{14}\text{C}$  après nettoyage et « rafraîchissement » de la coupe. Par ailleurs, un échantillon de gaz a été prélevé au niveau de la couche de surface du guano de la salle principale. D'autre part, une campagne de mesures du radon dans l'air de la grotte a été réalisée sur place du 15 mai au 15 juillet 1998.

Les analyses de  $^{13}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$  ont été effectuées au Centre de recherches géodynamiques de Thonon-les-Bains (Fontes, 1971).

Les mesures de concentrations en radon ont été effectuées au laboratoire de métrologie des interfaces techniques de l'Institut des sciences et techniques de l'environ-

nement à l'université de Franche-Comté, à Montbéliard. La technique passive utilisée est celle des détecteurs de traceurs nucléaires (Klein, 1990). Cette technique a déjà montré son efficacité, notamment pour localiser des sources thermales ou des anomalies géologiques (Heinicke et al., 1994 ; Rampoux et al., 1995). Nous avons, pour la grotte d'Adam, laissé 15 de ces détecteurs en place durant 2 mois dans la salle à guano et ses abords, l'un d'entre eux étant placé à l'extérieur de la grotte, pour mesurer la radiation ambiante.

## 4. Résultats

Le tableau et la figure illustrent les résultats des datations effectuées. La datation du niveau à –2,5 m a fait l'objet, récemment, d'une publication préliminaire (Carbonnel et al., 1997).

Tableau. Datations du guano et teneur en  $^{13}\text{C}$  du gaz de la grotte d'Adam.

Datings of guano and  $^{13}\text{C}$  concentration measured in the gas of the Adam cave.

Matériel analysé	Activité en $^{14}\text{C}$ en pcm	Teneur en $^{13}\text{C}$ en ‰	Âge conventionnel en années BP	Âge calibré en années BC
Guano à –1,2 m	71,0 ± 0,5	-25,9 ± 0,1	2 740 ± 60	910 à 810
Guano à –2,5 m	38,1 ± 0,1	-26,1 ± 0,1	7 600 ± 80	6 470 à 6 360
CO <sub>2</sub> grotte		-22,6 ± 0,1		

Au niveau du plancher de la grotte, la teneur en  $^{13}\text{C}$  du CO<sub>2</sub> à ~ –23 ‰ résulte du mélange de ~ 80 % de CO<sub>2</sub> à ~ –26 ‰, provenant de la minéralisation du guano, et de ~ 20 % de CO<sub>2</sub> atmosphérique à ~ 8 ‰.

On notera que les taux moyens d'accumulation du guano dans les intervalles de temps fournis par les deux dates sont d'environ 0,44 mm·an<sup>-1</sup> de 0 à –1,2 m et de 0,23 mm·an<sup>-1</sup>, de –1,2 à –2,5 m. Cette différence est à rapporter principalement aux phénomènes de tassement et de diagénèse du dépôt de guano avec le temps.

Les mesures de radon effectuées sur l'ensemble du volume de la « galerie à guano » et de son couloir d'accès fournissent des valeurs comprises entre 1 754 et 5 514 Bq·m<sup>-3</sup>, avec une valeur moyenne de 3 093 Bq ± 1 059 (N = 13), la teneur ambiante en dehors de la cavité karstique étant de 42 Bq·m<sup>-3</sup>. Cette teneur en radon est significative d'une zone volcano-sédimentaire, où les valeurs habituellement rencontrées varient autour de 5 000 Bq·m<sup>-3</sup> ; mais la présence des gaz provenant des couches profondes, en au moins un point de la grotte, aurait dû nous faire mesurer des valeurs beaucoup plus élevées. Cette anomalie s'expliquerait par l'existence

d'une circulation forcée de ces gaz à travers la grotte, ce qui empêcherait leur accumulation dans la salle. Quoi qu'il en soit, ces mesures de radon prouvent que la région est encore soumise à des contraintes tectoniques importantes, les flux de radon en étant la manifestation permanente la plus remarquable.

## 5. Commentaires et conclusions

Les datations de guano par le radiocarbone que nous fournissons sont les premières publiées en Europe sur ce type de matériaux carbonés. À notre connaissance, seul un guano desséché plus vieux que 38 000 ans BP a été daté en 1959 sur un échantillon de la Mammoth Cave (Kentucky, USA) par Davies et Chao (cité par Jegla et Hall, 1962, puis repris par Dobzhansky, 1968). Il y a cependant deux datations (VI<sup>e</sup>-X<sup>e</sup> siècle AD), en cours de publication sur des guanos provenant d'une grotte d'Arcy-sur-Cure (Girard et Bui Thi Mai, à paraître). On peut donc s'étonner du peu d'intérêt pour de telles mesures, qui permettent d'étudier ces « archives sédimentaires » que constituent les dépôts de guano.

La figure constitue une tentative de reconstitution de l'échelle chronologique du sondage de la grotte étudiée. Si la ligne qui joint les deux dates mesurées paraît justifiée, compte tenu de leur ancienneté, il est évident que celle qui rejoint la surface à 850 ans BC est extrapolée, en considérant que les phénomènes de compaction et d'évolution de la matière organique avec le temps doivent suivre une exponentielle. Cependant, cette échelle chronologique est susceptible de fournir de précieux renseignements sur l'histoire de la grotte d'Adam.

D'après Povara et al. (1972), le dépôt de guano se poursuivrait jusqu'à près de 3 m de profondeur. Si c'est réellement le cas (cela demande à être vérifié lors d'une

prochaine expédition), l'extrapolation de la courbe de la figure permettrait d'estimer que le début du dépôt daterait des environs de 9 000 ans BC. Cette date correspond à la charnière Tardiglaciaire-Holocène, caractérisée par le passage de la dernière récurrence glaciaire du Dryas récent à la période du Préboréal, qui voit la mise en place définitive des conditions climatiques actuelles. Une colonie de chauves-souris aurait donc pu s'installer dès la fin de la dernière glaciation, à la faveur de conditions climatiques plus favorables, mais aussi grâce aux conditions thermiques particulières de la grotte. On aurait donc là une des plus anciennes colonies permanentes de chiroptères d'Europe, sinon la plus ancienne.

La coupe de guano de la grotte d'Adam contient des amas de débris calcaires, principalement vers 2 m de profondeur, entre 1,45 et 1,70 m, et enfin, de façon plus diffuse, dans ses 50 premiers centimètres. Il y aurait donc eu des paroxysmes sismiques aux époques suivantes : vers 4 300 ans BC et entre 2 000 et 3 000 ans BC, périodes de forte séismicité ; une absence de séisme majeur caractériserait le premier millénaire de notre ère, ainsi que la période antérieure à 4 300 ans BC ; enfin, depuis 1 000 ans, des séismes moins importants auraient sporadiquement eu lieu. L'absence de concrétions actuelles au plafond de la « salle à guano » expliquerait peut-être aussi le peu de débris calcaires dans les derniers décimètres de la coupe ; or nous savons, grâce aux mesures de radon, que la région est encore potentiellement active.

Cette première approche d'une chronologie des événements sismiques holocènes des Carpates méridionales est actuellement difficile à mettre en relation avec des observations connues, faute de chroniques sûres provenant d'autres témoins de ces événements, mais apporte une première contribution à l'histoire tectonique récente de cette région.

## 6. Références

- Carbonnel J.-P., Décu V., Olive P., Povara I. et Gheorghiu V. 1997. Première datation par <sup>14</sup>C du remplissage de guano d'une grotte des Carpates méridionales : Pesteră lui Adam (Roumanie), *Trav. Inst. Spéol. « Emile-Racovitza »*, 35 (sous presse)
- Davies W.E et Chao E.T.C. 1959. *Report on sediment in Mammoth Cave, Kentucky*, U.S. Geol. Surv. Administ., Report prepared for the US National Park Service
- Decu V.G., Negrea A. et Negrea S. 1974. Une oasis biospéléologique tropicale développée dans une région tempérée : « Pesteră lui Adam » de Baile Herculane (Carpates Méridionales, Roumanie), *Trav. Inst. Spéol. « Emile-Racovitza »*, 13, 81-103
- Decu V.G. et Tufescu M.V. 1976. Sur l'organisation d'une biocénose extrême : la biocénose du guano de la grotte « Pesteră lui Adam » de Baile Herculane (Carpates Méridionales, Roumanie), *Trav. Inst. Spéol. « Emile-Racovitza »*, 15, 113-132
- Fontes J.-C. 1971. Un ensemble destiné à la mesure de l'activité du radiocarbone naturel par scintillation liquide, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* (2), 13 (1), 67-86
- Girard M. et Bui Thi Mai. 1999. Analyse pollinique des guanos de chauves-souris de la grande grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne), in : Les paléopalins, Mélanges offerts à Pierre Bintz, *Mém. H.S. de géologie alpine* (à paraître)
- Heinicke J., Koch U. Hebert D. et Martinelli G. 1994. Simultaneous measurements of radon and CO<sub>2</sub> in water as a possible tool for earthquake prediction, *Environ. Geochem. Health*, 16, 295-305
- Jegla T.C. et Hall J.S. 1962. A Pleistocene deposit of the free-tail bat in Mammoth Cave, Kentucky, *J. Mammalogy*, 43 (4), 477-481
- Klein D. 1990. Mise au point d'un compteur proportionnel pour la mesure du radon. Applications à la prévision sismique, *Thèse*, Université de Franche-Comté
- Povara I., Diaconu G. et Goran C. 1972. Observations préliminaires sur les grottes influencées par les eaux thermo-minérales de la zone Baile-Herculane, *Trav. Inst. Spéol. « Emile-Racovitza »*, XI, 355-365
- Rampoux N., Klein D. et Demongeot S. 1995. Anomalies radon, the DSTN method provides more reliable results, *Houille Blanche - Rev. Intern. de l'Eau*, 50 (2-3), 59-61