PREMIERE DATATION PAR ^{14}C DU REMPLISSAGE DE GUANO D'UNE GROTTE DES CARPATES MERIDIONALES: Peştera lui Adam (ROUMANIE)

J.P. CARBONNEL *, V. DECU **, PH. OLIVE ***, I. POVARĂ ** et V. GHEORGHIU **

La grotte d'Adam de Băile Herculane (Carpates Méridionales, Roumanie) héberge une colonie mixte de chauves-souris (*Rhinolophus euryale*, espèce dominante), dans un milieu particulier caractérisé par les traits climatiques d'une grotte tropicale à poche d'air chaud. La datation par ^{14}C de la base (2,5 m) du dépôt de guano de la grotte donne un âge «calibré» de 6400 ans BC. C'est la première datation de ce type en Europe. Le dépôt étudié constitue les archives de l'entomofaune et de la pollution régionale depuis huit millénaires.

In Adam cave, near Băile Herculane, in South Carpathian Chain (Romania), a mixed fauna of Chiroptera (the main one is *Rhinolophus euryale*) exists in very particular isolated medium with warm thermal conditions. A ^{14}C datation of the base of guano deposit at – 2.5 meters deep, give a «calibrated» age of 6,400 y. B.C. That is the first guano ^{14}C datation in Europe. The studies deposit is the records of the entomofauna and the polluted area evolution for eight millenaires.

Mots clefs: ***karst, guano, datation ^{14}C, Carpates, Roumanie***

I. INTRODUCTION

Les datations en milieu karstique sont, la plupart du temps, faites sur des matériaux soit carbonatés d'origine minérale (datation U/Th), soit carbonés d'origine organique (datation ^{14}C). Si les premières on été assez largement utilisées pour dater des dépôts de travertins, concrétions etc.. (Onac & Lauritzen, 1996) il semble que les secondes aient été peu utilisées dans ce milieu. L'environnement calcaire semble avoir masqué les possibilités de datation présentées par l'utilisation des matériaux organiques accumulés dans les cavités. Les plus importants de ces dépôts naturels sont les ossements de mammifères et le guano des chauves-souris. Les dépôts osseux sont souvent plus anciens que la limite de datation par ^{14}C (maximum 40.000 ans) mais les dépôts conservés de guano sont pour la plupart plus jeunes. Mais il est vrai que, bien souvent ces dépôts ont été perturbés par leur exploitation immémoriale par l'homme et donc considérés comme peu aptes à étude scientifique.

A notre connaissance, la première et une des rares datations par Carbone 14 effectuée sur du guano remonte à 1959. Un dépôt ancien, desséché de guano de la Mammouth Cave (Kentucky) a été daté à plus de 38.000 ans B. P. par Davies et Chao (cité par Jegla & Hall, 1962, et repris par Barr, 1968).

En Europe, si l'on excepte la datation d'un guano (approx. 3000 ans, Tranteev, 1962) ayant servi à tracer des dessins pariétaux (grotte de Măgura, NO Bulgarie), nous n'avons pu trouver dans la littérature aucune référence à de telles mesures, c'est donc certainement le premier exemple européen de datation de guano ancien que nous présentons ci-après.On notera cependant que des ossements de *R. euryale* de la grotte du Poteux dans la Valais (Suisse) ont été daté par ^{14}C à 3870 ans B.P. (Hausser, 1995), âge qui correspond à la période climatique sub-boréale.

Le matériel daté provient de la grotte «Peştera lui Adam», située dans la vallée de la Cerna, près de Băile Herculane. Cette grotte connue depuis 1967 (Pascu, 1967), a fait l'objet de travaux importants principalement sur sa biologie particulière (Povară *et al.*, 1972; Decou *et al.*, 1974, 1976; Tufescu & Decu , 1977). Nous ne reprendrons pas ici le détail de ces travaux mais présenterons seulement sommairement l'essentiel de l'originalité de cette grotte.

II. PEŞTERA LUI ADAM: CONTEXTE PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE

1. SITUATION, TOPOGRAPHIE ET MICROCLIMAT.

Le sud-ouest des Carpates roumaines est affecté d'un système tectonique disjonctif de caractère régional (plus de 300 km de longueur), transcrustal et post-crétacé, qui s'étend aussi au sud du Danube. Le long de celui-ci s'est développé une structure de type graben, orientée NE-SO, approfondie de 1000 m par rapport aux unités voisines et dans laquelle s'est installée à la fin du Tortonien la rivière Cerna. Un dépôt de roches calcaires d'âge jurassique-crétacé, d'une épaisseur totale de 350–400 m et déplacé par des mouvements tectoniques, peut être rencontré autant dans le graben (à – 1075m), que dans les versants de la Cerna jusqu'à + 1250 m (Năstăscanu, 1982).

Le long de la faille ouest du graben, au nord de Băile Herculane une anomalie géothermale positive d'une longueur de 30 km, dont le gradient est de 110–200°C et le flux géothermale atteint 70–92 mWm $^{-2}$ (Veliciu et al., 1976) est observée. Les valeurs maxima s'enregistrent dans les zones où les calcaires se trouvent à une faible profondeur ou apparaissent dans les affleurements.

Dans cinq cavités karstiques développées dans le versant de rive droite de la Cerna (l'une d'elle étant «Peştera lui Adam»), situées entre 5 et 295 m d'altitude, l'influence du thermalisme de la zone, engendrée soit par les eaux thermo-minerales (17°–53,5°C), soit par des vapeurs d'eau chaudes (46,5°–54,5°) (Povară et al., 1972) est notable. L'arrivée du thermalisme est postérieure au développement des cavités. On ne connait pas son début dans

la zone de Băilé Herculane. Certaines hypothèses s'appuient sur l'altitude relative des cavités karstiques influencées par le thermalisme et sur leurs dépôts de remplissage. Ainsi, dans trois cavités situées sur la terrasse inférieure de la Cerna (5–7 m), parcourues par des eaux thermo-minérales, gypse et pikering (deux minéraux dont la génèse est hydrothermale) (Diaconu, 1974), recouvrent la croûte calcaire déposée dans des conditions normales. On suppose donc que l'âge du thermalisme de ces cinq grottes pourrait-être placé au niveau de la première terrasse, donc à la fin du Pleistocène-commencement de l' Holocène.

Peştera lui Adam (fig.1) située à 295 m d'altitude absolue et 139 m au-dessus du talweg de la Cerna, représente une cavité de type aven-grotte développée sur un système de failles de tension (E–O) perpendiculaires au graben. Elle est

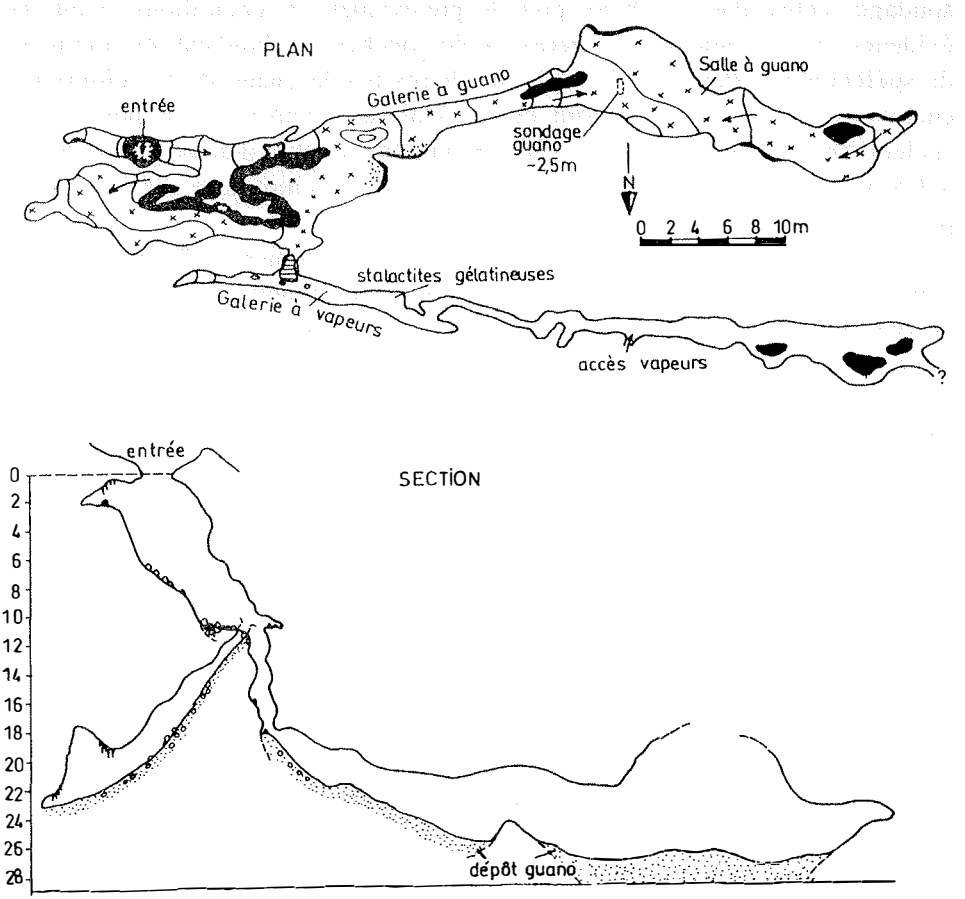

Fig. 1. – Peştera lui Adam (d'après Povară, Diaconu et Goran, 1972, modifiée).

creusée dans un massif de calcaires malm-néocomiens qui jouit d'un climat sub-méditerranéen. D'un longueur de 212 m, elle est formée de deux galeries parallèles: la «Galerie à guano» et la «Galerie à vapeurs» (fig.1). La première commence par un aven de 11 m; continuellement descendante sur environ 40 m, elle devient ensuite horizontale. Le plancher est presque entièrement couvert de guano, qui, au bas de l'aven est mélangé avec de l'argile et du bois en putréfaction. L'autre galerie, inhabitable, est baignée de vapeurs chaudes qui arrivent de plus bas par l'intermédiaire d'un réseau de diaclases. Dans la zone de la base de l'aven, les deux galeries sont en liaison et les vapeurs y pénètrent par un retrécissement très surbaissé dans la «Galerie à guano», qui, due à sa morphologie, est ainsi transformée en «poche d'air chaud» (Decu & Tufescu, 1976).

La «Galerie à guano» n'abrite pas de concrétions de calcite. Mais un sondage réalisé dans le dépôt pour le prélèvement d'échantillons, a mis en évidence en profondeur une alternance de couches où abondent les fragments de spéléothèmes détachés du plafond, altérés par le guano de la colonie des chauves-souris. La partie nord de la «Galerie à vapeurs» est pourvue de spéléothèmes de plafond et pariétaux en quantité, dont le diamètre varie de 0,3 à 1,5 m; leur surface est altérée par des processus chimiques sur 5–6 cm de profondeur.

Le microclimat de la grotte d'Adam est fortement influencé par les manifestations thermales. La température moyenne annuelle des grottes à guano de type témperé atteint 8°–9°, alors qu'on enregistre environ 27°C dans la grotte d'Adam. Pour cette grotte, la différence de température entre l'hiver et l'été atteint environ 2°C en profondeur et environ 3°C au bas de l'aven. L'air chaud chargé de vapeurs a une humidité très élevée: entre 95% et 100% HR. L'apport n'est pas continu; il y a des périodes plus ou moins longues d'interruption d'apport de vapeurs quand température et humidité baissent.

2. LES CHAUVES-SOURIS ET LE DÉPÔT DE GUANO

En dehors de la «Galerie à vapeurs» dont le plancher est argileux, le guano est réparti partout et d'une manière presque uniforme. Sa quantité, qui est directement dépendante de la présence ou de l'absence des Chiroptères, est responsable de l'hétérogénéité de la surface du dépôt qui se présente comme une mosaïque de microhabitats et, implicitement, comme une mosaïque de mérocénoses.

L'épaisseur maximale du dépôt est de 2,5 m et une section verticale met en evidence l'existence de trois couches principales: une couche granulaire jusqu'à 0,25 m, une couche granulo-fibreuse entre 0,25–1,5 m et une couche

de guano pâteux imbibé de liquide jusqu'à 2,5 m. En profondeur, à l'intérieur des couches abondent des fragments de spéléothèmes.

La grotte d'Adam abrite une population hétérospécifique de *Rhinolophus euryale, Rh. ferrum-equinum, Myotis myotis, Miniopterus schreibersi et M. oxygnathus*, qui compte des milliers d'individus – la plupart appartenant à la première espèce.

Les espèces guanogènes les plus importantes sont *Rh. euryale, Rh. ferrum-equinum, Myotis myotis et Miniopterus schreibersi.*

On ne connait pas actuellement si l'association des chauves-souris mentionnée et le rapport numérique des individus sont restés les mêmes au cours du temps. Certaines considérations d'ordre biologique et climatique, que nous envisagerons plus loin, pencheraient vers l'affirmative. Mais seul un inventaire réalisé sur toute l'épaisseur du dépôt à partir des restes des squelettes et de l'ADN de poils pourrait nous renseigner.

Rh. euryale a une répartition qui s'eténd de Transcaucasie à Israel et au sud de l'Europe. Elle atteint le Turkménistan, l'Iran et le Magreb. C'est une espèce essentiellement méditerranéenne qui n'établit qu'exceptionnellement ses colonies en dehors des cavités souterraines; elle fréquente les régions chaudes et boisées, de préférence calcaires, avec de l'eau à proximité. Elle chasse essentiellement des papillons dans les zones semiboisés ou boisées d'arbres épars, haies ou près des falaises (Hauser, 1995; Bertrand, 1991).

Dans la grotte d'Adam une importante population de *Rh. euryale* s'installe en mars-avril; elle s'y reproduit et en part en septembre-octobre dans les régions méridionales.

3. ORGANISATION DE LA BIOCÉNOSE DU GUANO

La caractéristique fondamentale de la biocénose du guano de la grotte d'Adam est son organisation très simplifiée, par le nombre réduit d'espèces macroscopiques (numériquement importantes) et le nombre de niveaux trophiques.

La diversité biocénotique mesurée par l'équation de Fisher, Corbet, Williams est de 0,953. Du point de vue informationnel (de la fonction Shanon), la diversité mesure 0,44 bits (Decou & Tufescu, 1976). Il n'existe que deux niveaux trophiques: un niveau principal, très abondant, le niveau de saprophages guanophages (où se rencontrent Oligochètes, Acariens Uropodides et Trombiculides, Diplopodes, Isopodes, Collemboles, Lépidoptéres et Diptères-Brachycères) et un niveau secondaire, de zoophages guanophiles qui comprend les Araneides, les Acariens Gamasides, les Chilopodes et les Coléoptères Histerides. Aucun des taxons zoophages n'ont des densités supra-unitaires; de telles densités ont seulement trois taxons guanophages: deux

Uropodides fungivores *Chiropturopoda cavernicola* (dont l'abondance atteint 97%) et *Trichouropoda orbicularis* (espèce troglophile dont l'abondance atteint 2,4%) et les Oribatides. L'abondance de *Chiropturopoda* baisse pendant l'hiver jusqu'à 78%, tandis que l'abondance de *Trichouropoda* augmente jusqu'à 21%. Ce changement dans l'abondance est déterminé par le départ des Chiroptères qui produit une modification de la qualité du guano et un abaissement des caractéristiques du microclimat, modifications qui favorisent *Trichouropoda.*

La biocénose de guano est secondaire et s'est organisée après l'apparition des vapeurs chaudes dans la grotte. Des restes de la biocènose primaire (comme *Trichoniscus inferus* ou *Nesticus cernensis,* deux espèces troglobiontes) se sont refugiés en bas de l'aven où la température de l'atmosphère est plus réduite et le guano est mélangé avec de l'argile et des restes végétaux (Decou et Tufescu, 1976).

4. PARTICULARITÉS DE L'ÉCOSYSTÈME

La grotte d'Adam est unique, par:

- les conditions spéciales de son écotope: (l'arrivée de vapeurs chaudes a déterminé le changement des conditions thermiques d'origine de la biocénose initiale de la grotte, avec l'installation d'une colonie mixte de chauves-souris et d'une biocénose de guano extremêment simplifiée; elle constitue aussi une barrière pour les espèces guanophiles de climat tempéré et un facteur favorisant pour les guanophiles thermophiles; ainsi, la grotte est devenue une sorte d'«oasïs tropicale» dans la région tempérée actuelle);
- son nombre réduit de niveaux trophiques;
- son numbre réduit d'espèces ayant une importance dans la chaîne alimentaire;
- le fait que plus de 95% des individus appartiennent à une seule espèce, situation limite du 2-e principe biocénotique de Thienemann (Decou & Tufescu, 1976).

III. METHODES ET RÉSULTATS

1. PRÉLÈVEMENT

Le prélèvement a été effectué à la base du remplissage de guano, à 2,50 m de profondeur et correspond à une tranche verticale de 5 cm d'épaisseur. Le matériel est mou, avec la consistance d'une vase thixotropique, de couleur brun clair. Cette consistance suggère que le matériel d'origine est humidifié par l'eau d'infiltration latérale et non par une percolation à travers le dépôt

puisque des mesures de ^{137}Cs (Carbonnel *et al.*, 1999) effectuées dans les niveaux supérieurs et à la base du remplissage montrent que seuls les quinze premiers centimètres et la base sont contaminés par ce radionucléide.

2. PRÉTRAITEMENT ET TRAITEMENT DE L'ÉCHANTILLON

La mesure a été faite au Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon les Bains (France).

Le prétraitement consiste à laver l'échantillon à l'eau déminéralisée, puis à le sécher à l'étuve; un traitement à l'hydroxyde de sodium à 80°C pendant 24 h puis rinçage permet d'enlever les acides humides récents susceptibles d'avoir rajeunis l'échantillon; un traitement à l'acide chlohydrique toujours à 80°C pendant 24 h puis rinçage fait disparaître les formes minérales carbonatées issues des hydrogénocarbonates des eaux superficielles ou anciennes.

Le chauffage du résidu dans un tube de quartz sous courant d'azote permet ensuite de transformer la matière organique en carbone.

Le traitement proprement dit de l'échantillon comporte les étapes suivantes: combustion à 700°C en présence d'oxygène afin d'obtenir du CO_2; carburation à 450°C en présence de Lithium ce qui fournit du carbone de Lithium (Li_2C_2) dont l'hydrolyse aboutit à la formation d'éthine (acétylène, C_2H_2); ce dernier en présence d'un catalyseur au chrome se trimérise en benzène (C_6H_6) sur lequel est effectuée la mesure de la teneur en C_{14}.

3. RÉSULTATS

L'activité en ^{14}C du benzène est mesurée dans une spectromètre à scintillation liquide.

Cette activité en ^{14}C est de 38,7 + / – 0,4 pcm (pour cent de carbone moderne).

La teneur en ^{13}C est de $\Delta^{13}C = -26,1 + / - 0,1\%$.

Ce qui permet de calculer un «âge conventionnel» (BP avant 1950) de 7600 + / – 80 ans BP et un «âge calibré», tenant compte de la variation de la teneur en ^{14}C du CO_2 au cours du temps, de 6420 ans BC avec 86% de chances que la vraie valeur soit comprise entre 6356 et 6474 ans BC; 5% entre 6318 et 6303 ans BC et 9% entre 6279 et 6256 ans BC.

IV. COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Ce résultat appelle les commentaires et hypothèses des travail suivants:

La datation de la base du remplissage guaneux de la grotte d'Adam représente la première tentative de datation de ce type de matériel organique

en Europe. Les conclusions qui suivent devraient contribuer à favoriser le développement de ce genre de datations.

La grotte s'est ouverte sur l'extérieur à une date nécessairement plus ancienne que la datation fournie.

Les échantillons étudiés, dont celui qui a été daté, contiennent tous des débris d'insectes, on peut donc en déduire que l'ensemble du remplissage est bien constitué de guano et que la datation a été effectuée sur la matière organique provenant des restes de proies de Chiroptères et/ou sur les restes de ces Chiroptères eux mêmes. Une analyse du Carbone et de l'Azote de ce guano de la base du remplissage fournit un rapport C/N de 3,64 (37,% C; 9,5% N) ce qui prouve son origine animale.

Une colonie de chauves-souris s'est donc installée dans la grotte d'Adam au cours de la période climatique «boréale» qui a été chaude et sèche et correspond pour les Carpates roumaines à la phase forestière «épicéa à chénaie mixte et noisetier» (POP, 1960), pendant laquelle les plantes et les animaux thermophiles ont atteint un développement très important. Le problème est de savoir si nous avions déjà affaire à une colonie identique à l'actualle c'est-à-dire composée majoritairement de *Rh. euryale* d'origine essentiellement méditerranéenne. Une certain nombre d'arguments laisse supposer que ce serait bien le cas:

● La grande quantité de guano déposé depuis environ 8000 ans va dans le sens de la présence continue d'une espèce thermophile de Chiroptères pouvant resister aux conditions de température de la grotte commandées par la venue d'émanations gazeuses chaudes liées au thermalisme régional; on est donc en droit de supposer que *Rh. euryale,* espèce thermophile, s'est installée à la grotte d'Adam à la faveur de conditions climatiques favorables à sa venue et à son installation dans la vallée de la Cerna.

● *Rh. euryale* ne constitue pas la seule espèce thermophile dans la faune de la grotte d'Adam: l'Acarien Uropodidae – *Chiropturopoda cavernicola* – qui à lui seul constitue 97% (Decou & Tufescu, 1976) de la population de la grotte est aussi une espèce thermophile, relicte tropical troglobionte, dont on trouve actuellement des espèces voisines en Afrique du Sud; il a pu, lui aussi, peupler la grotte d'Adam au cours de la période «boréale» et est apparu dans la région certainement pendant une phase climatique particulièrement chaude aux alentours de 8400 ans. Le climat humide et plus frais de la période «sub-atlantique» (correspondant à la «phase du hêtre», apparue vers 2500 ans), a déterminé l'isolement de *C. cavernicola* dans la grotte d'Adam où elle est devenue endémique.

Ainsi on est en droit de considérer, avec de bonnes probabilités, que, depuis environ 8000 ans, la grotte est occupée par une colonie de Chiroptères sensiblement identique à celle qu'on observe aujourd'hui.

Cette conclusion a des implications importantes par rapport à l'historique même de l'évolution paléoclimatique régionale. En effet, l'accumulation de guano est le reflet direct du régime alimentaire (essentiellement insectivore) de cette colonie tout au long des huit derniers millénaires.

L'accumulation de guano représente, en fait, des „archives" souterraines exceptionnelles qu'il s'agit maintenant de valoriser par l'étude fine de son contenu en restes biologiques, indicateurs précieux du paléo-environnement, et de sa composition chimique.

Note. Le travail a été en partie financé par le Ministère de la Recherche et de la Technologie, avec le Grant 4117/1998.

BIBLIOGRAPHIE

1968 BARR Th. C. jr., *Cave ecology and the evolution of troglobites*, p. 35–102. In: Dobzahnsky Th., Hecht M. K. and Steere W. C., (Editors) (1968), Evolutionary Biology (Tome **2**). *Meredith Corp.*, New York.

1991 BERTRAND A., *Les Chauves-souris d'Ariège. Moulis*, 40 pp.

1966 BROSSET A., *La biologie des Chiroptères*. Paris, 240 pp.

1999 CARBONNEL J. P., KLEIN D., DECU V. Gh., SILVESTRU E. et GHEORGHIU V., *Le guano de chauves-souris, un nouveau bioindicateur de la pollution radioactive régionale* (à paraître).

1959 DAVIES W. E. and CHAO E. T. C., *Report on sediments in Mammouth Cave, Kentucky*. U.S. Geol. Surv. Administ., Report prepared for U.S. Nat. Park Service.

1969 DECU V. et NEGREA St., *Aperçu zoogéographique sur la faune cavernicole terrestre de Roumanie*. Acta Zool. Cracov., **XVI**, 20: 471–545.

1974 DECOU V. Gh., NEGREA A. et NEGREA St., *Une oasis tropicale développée dans une région tempérée: «Peştera lui Adam» de Băile Herculane (Carpates Méridionales, Roumanie)*. Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», **XIII**: 81–103. Bucureşti.

1976 DECOU V. Gh. et TUFESCU M. V., *Sur l'organisation d'une biocénose extrême: la biocénose du guano de la grotte «Peştera lui Adam» de Băile Herculane (Carpates Méridionales, Roumanie)*. Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», **XV**: 113–132, Bucureşti.

1962 JEGLA T. C. and HALL J. S., *A Pleistocene deposit of the free-tail bat in Mammouth Cave, Kentucky*. Journ. of Mammalogy, **13 (1)**: 477–481.

1980 NĂSTĂSEANU S., *Géologie des Monts Cerna*, **LIV**, Inst. Géol. Géoph. Bucureşti, 137 p.

1996 ONAC B. P. and LAURITZEN S. E., *The Climate of the last 150.000 years recorded in speleothems: Preliminary results from North-Western Romania*. Theor. Appl. Karts., **9**: 9–21, Bucureşti.

1967 PASCU M., *Combaterea infiltraţiilor de ape reci la izvorul termal Herculane II (Băile Herculane, regiunea Banat)*. (Manuscrit).

1960 POP E., *Mlaştinile de turbă din Republica Populară Română*. Bucureşti.

1972 POVARĂ I., DIACONU G. et GORAN C., *Observations préliminaires sur les grottes influencées par les eaux thermo-minérales de la zone de Băile-Herculane*. Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», **XI**: 355–365, Bucureşti.

1962 TRANTEEV P., *Pescerat Magura*. Sofia, 52 p.

1977 TUFESCU M. et DECU V., *Modèles préliminaires de la dynamique des populations principales de la biocénose du guano de la grotte «Peştera lui Adam» de Băile Herculane (Roumanie).* Trav. Inst. Spéol. «É. Racovitza», 16: 85–99.

1976 VELICIU S., ZAMFIR A., NĂSTĂSEANU S., *Cercetări geologice şi de teledetecţie, inclusiv cu foraje, pentru surse de energie geotermală: Carpaţii Meridionali – Cercetări geotermice în zona grabenului Cernei.* Arhiva I.G.G. – Bucureşti (Manuscrit).

* *Université Paris 06,*
Laboratoire de Géologie Appliquée (France)
** *Institut de Spéologie «Émile Racovitza»*
Bucarest (Roumanie)
*** *Université Paris 06, Centre de Recherches Géodynamiques,*
Thonon les Bains (France)