Sur la genèse de la voûte plane-horizontale de la grotte «Peştera cu Apă din Valea Leşului»

par

Pompei Coccan

Le travail propose une explication pour la genèse de la voûte plane-horizontale, en prenant comme exemple la grotte « *Peştera cu Apă din Valea Leşului* » (Roumanie). On considère que cet élément morphologique prend naissance à la suite de la combinaison d'un complexe de facteurs (tectonique et structure du calcaire, pente faible de l'écoulement souterrain, débit constant des eaux) qui intervient accidentellement dans le déroulement du processus normal de karstification.

Dans le cadre du processus complexe de karstification la morphologie qui en résulte reflète la spécificité des phénomènes déroulés, leur ampleur et leur diversité, en fonction de la variabilité des facteurs primaires et secondaires qui les conditionnent. Les lois générales de l'évolution endokarstique n'excluent pourtant pas la possibilité d'apparition des tendances d'exception, lorsque l'action conjuguée de plusieurs éléments, normalement non liés d'une manière obligatoire dans le processus de karstification, arrive à imprimer à celui-ci une direction particulière.

En nous basant sur ces principes, nous considérons que la voûte plane-horizontale, qui représente un élément morphologique caractéristique pour des secteurs souvent assez importants de galeries des grottes, est le résultat de l'intervention efficiente dans le processus normal de karstification d'un tel ensemble de facteurs, qui apparaissent et actionnent simultanément, dans une étroite interrelation. Si la formation n'est rencontrée que d'une manière sporadique, sans pouvoir lui accorder le moindre coefficient de généralité (pour toutes les grottes ou pour la majorité de celles-ci), c'est parce que la probabilité d'une action conjuguée de ses facteurs génétiques est extrêmement faible.

CONDITIONNEMENT MORPHOGÉNÉTIQUE DE LA VOÛTE PLANE-HORIZONTALE

Dans ce qui suit nous allons analyser l'ensemble des facteurs morphogénétiques de la voûte plane-horizontale, le rôle de ceux-ci et le sens propre qu'ils impriment à l'évolution endokarstique ayant comme point de référence les observations effectuées dans la *Peştera cu Apă din Valea Leşului*, où la voûte plane-horizontale s'individualise comme une formation caractéristique par son déroulement spatial, par son modelage représentatif et par son haut degré de conservation.

La *Peştera cu Apă din Valea Leşului* fait partie de la zone karstique localisée dans le bassin de *Valea Iadului* dont la *Valea Leşului* est un affluent de premier ordre. La grotte s'ouvre à 700 m d'altitude, sur le ver-

Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», t. XIV, p. 189—196, Bucarest, 1975

sant droit de la vallée dont elle a emprunté le nom. Sa genèse et son évolution sont liées à l'activité souterraine du cours d'eau qui coule aujourd'hui encore sur toute sa longueur. Quoiqu'elle soit creusée dans un calcaire massif, non stratifié, d'âge jurassique, la grotte est riche en éléments tectoniques, représentés par des zones de faible résistence préférées initialement et élargies ensuite par les eaux.

Le développement de la cavité sous la forme d'une seule galerie, avec seulement quelques petits diverticules latéraux dans son secteur amont, prouve l'orientation avec prépondérance du processus de karstification le long d'une seule diaclase — à rôle directeur —, diaclase qui peut être suivie dans presque toute la grotte, les diverticules étant formés par suite de l'activation par les eaux d'autres lignes tectoniques, orientées d'habitude perpendiculairement sur la diaclase directrice.

Au point de vue morpologique, la *Peştera cu Apă din Valea Leşului* présente deux secteurs distincts (Fig. 1) :

1. Le secteur compris entre le siphon qui ferme en amont la galerie principale et le point nommé « Les Eboulis ». Ce secteur se présente sous la forme d'une galerie ramifiée et relativement peu méandrée et se caractérise par une morphologie accidentée, résultant du fait que la labilité tectonique du calcaire (mise en évidence par de nombreuses fissures et diaclases actives) a mené à une accéleration des processus spélégénétiques par une corrosion largement déroulée dans l'espace, à laquelle s'ajoutent des effondrements massifs, des alluvionnements et des décolmatages, etc.

2. Le secteur compris entre « Les Eboulis » et « Le Debarcadère ». Ce secteur se caractérise par la présence dominante de la voûte plane-horizontale, dont la partie la plus représentative se trouve entre «La Mire I» et « La Mire II ». Des portions de galerie à voûte plane-horizontale apparaissent pourtant dans le premier secteur aussi, mais celle-ci est ici beaucoup plus fragmentée à cause de l'activation ultérieure à son modelage, des fissures se trouvent dans son plan ; par la suite, l'activité corrosive des eaux et des effondrements a mené à la désorganisation de la formation primaire.

Sur la genèse de la voûte plane-horizontale ont été exprimées jusqu'à présent plusieurs opinions, mais, à une analyse plus détaillée, celles-ci nous paraissent peu probables ou insuffisamment argumentées. C'est ainsi que I. Viehmann et C. Pleşa (1958) considèrent le modelage de la voûte plane-horizontale comme étant conditionnée par l'existence d'un joint de stratification. Toutes les observations faites conduisent pourtant à considérer le calcaire jurassique dans lequel s'est développée la grotte comme étant massif, non stratifié et donc dépourvu de joints de stratifications. I. Viehmann et M. Serban (1961) affirment le fait (de certaine valabilité) que dans ce cas particulier le coefficient de participation de la tectonique (généralement reconnu comme déterminant) est substitué par celui de l'élément hydrologique ; mais la modalité de cette substitution et son rôle concret dans la genèse de la formation ne nous sont pas revélés par les deux auteurs.

En ce qui nous concerne, pour expliquer le processus de modelage de la voûte plane-horizontale nous avons en vue une évolution normale de la grotte, à partir du moment où l'eau, exploitant les points friables de la roche (fentes, diaclases, différenciations de structure et de texture), donne

naissance, par dissolution et en régime d'écoulement sous pression, à un réseau aquifère souterrain et continuant par l'action d'élargissement des voies de drainage par dissolution et érosion et en régime d'écoulement libre.

Le modelage de la voûte plane-horizontale commence seulement lorsque, dans le déroulement de ce processus admis comme généralement valable, intervient, comme un élément fortuit, la combinaison des conditions suivantes qui, par leur action conjuguée et de longue durée, constituent le facteur génétique déterminant :

— inexistence d'infiltrations verticales jusqu'au niveau de la voûte ;

— suppression du processus de karstification en profondeur pendant la période de modelage de la formation ;

— calcaire compact ou porphyrique, à structure homogène;

— débit relativement constant du cours d'eau souterrain.

1. L'absence des infiltrations verticales est une condition *sine qua non* de la genèse de la voûte plane-horizontale, en cas contraire, les eaux arrivées au niveau de la voûte produisant forcement la fragmentation de celle-ci par dissolution. Pour la réalisation de cette condition il est nécessaire que les fentes et les diaclases existant dans la masse du calcaire soient inactives, ce qui résulte, soit du fait que le calcaire est précédé dans la série stratigraphique par une couche imperméable, à rôle de paravent, soit du fait que ces fentes se sont colmatées avant le début du modelage.

L'importance de cette condition est mise clairement en évidence dans le premier secteur de la grotte, où la voûte plane-horizontale fait

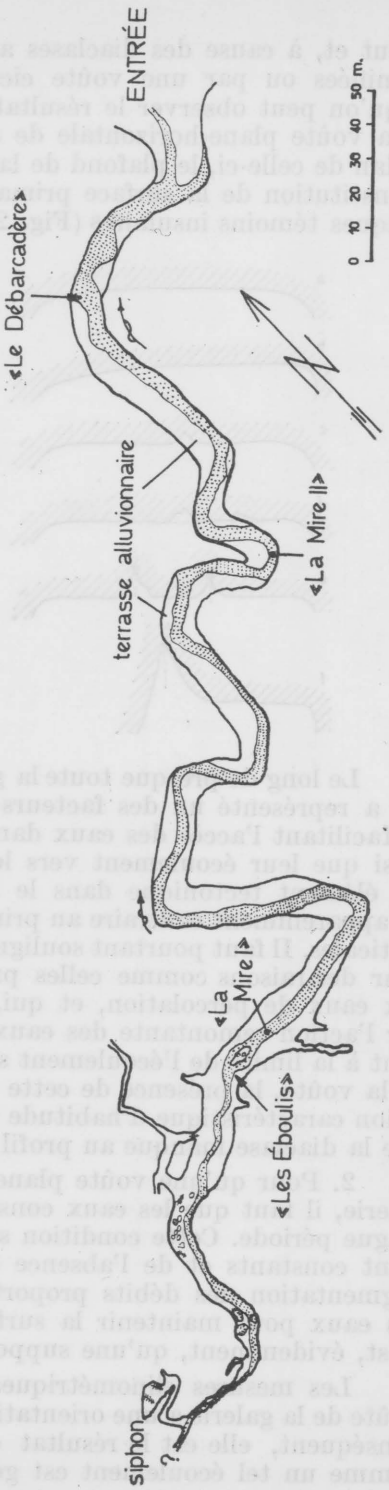

Fig. 1. — Plan de la *Peștera cu Apă din Valea Leșului* (d'après I. Viehmann et C. Pleșa, 1958)

défaut et, à cause des diaclases actives elle est remplacée par de hautes cheminées ou par une voûte cicatrisée, d'effondrement. C'est toujours ici qu'on peut observer le résultat de l'activation ultérieure au modelage de la voûte plane-horizontale de certaines fissures qui apparaissent dans le plan de celle-ci, le plafond de la galerie étant fortement fragmenté et la reconstitution de la surface primaire ne pouvant se faire qu'à la base de quelques témoins insulaires (Fig. 2, *e*, *f*).

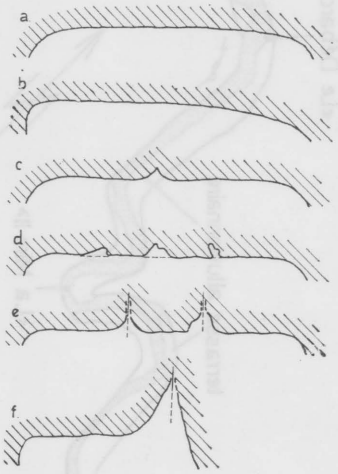

Fig. 2. — Aspects morphologiques caractéristiques pour la voûte plane-horizontale de la *Peştera cu Apă din Valea Leşului* : *a*, dans les secteurs rectilignes de la galerie ; *b*, dans les secteurs méandrés ; *c*, à diaclase directrice ; *e*, *f*, dans les secteurs affectés par des infiltrations secondaires.

Le long de presque toute la galerie on peut suivre la diaclase directrice qui a représenté un des facteurs déterminants de la genèse de la grotte, en facilitant l'accès des eaux dans la partie amont du système karstique, ainsi que leur écoulement vers le point de résurgence. L'intervention de cet élément tectonique dans le modelage de la voûte plane-horizontale est apparemment contraire au principe dont il s'agit — absence d'infiltrations verticales. Il faut pourtant souligner qu'il s'agit toujours d'une diaclase qui, pour des raisons comme celles précisées ci-dessus, est restée inaccessible aux eaux de percolation, et qui, par contre, a été partiellement élargie par l'action remontante des eaux souterraines déjà organisées et se trouvant à la limite de l'écoulement sous pression. Dans la morphologie intime de la voûte, la présence de cette diaclase se manifeste comme une dénivélation caractéristique d'habitude axiale (Fig. 2, *c*) qui n'apparaît plus lorsque la diaclase manque au profil de la galerie.

2. Pour qu'une voûte plane-horizontale résulte du creusement de la galerie, il faut que les eaux conservent un niveau constant pendant une longue période. Cette condition se réalise dans le cas des débits relativement constants et de l'absence de karstification en profondeur, car une augmentation des débits proportionnellement à l'abaissement du niveau des eaux pour maintenir la surface de l'écoulement à la même hauteur n'est, évidemment, qu'une supposition purement théorique.

Les mesures clinométriques faites dans la grotte montrent que la voûte de la galerie a une orientation dans le sens gravitationnel et que, par conséquent, elle est le résultat de l'action des eaux en écoulement libre. Comme un tel écoulement est généralement soumis aux mêmes lois que

celui de la surface (M. B l e a h u , 1974), l'intervention de la pente en tant que facteur qui influence la vitesse d'écoulement et, par cela, le transport et le dépôt des alluvions doit être prise en considération. On sait que, dans l'écoulement de surface, l'érosion en profondeur est propre aux secteurs dont le profil longitudinal présente un angle de pente grand ou des ruptures de pente et qu'elle n'est diminuée que lorsque cet angle se réduit sensiblement, étant remplacée alors par l'érosion latérale. Dans l'écoulement souterrain en régime libre, la karstification en profondeur se poursuit pourtant même si la pente est extrêmement faible, à cause du fait que l'eau garde son pouvoir corrosif dans cette situation aussi. Par conséquent, la pente n'intervient comme facteur limitant l'approfondissement du cours d'eau qu'en favorisant le dépôt des alluvions. Ainsi a lieu un « enchaînement » de l'écoulement dans un lit d'alluvions qui supprime le contact direct entre l'eau et la roche, en annihilant la corrosion et, par la suite, l'abaissement du niveau du cours d'eau.

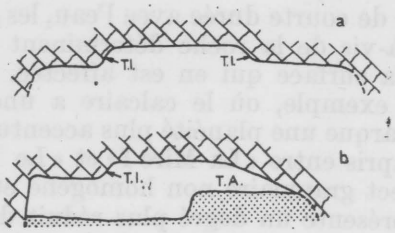

Fig. 3. — Schéma des terrasses inverses symétriques, dans les secteurs rectilignes de la galerie (*a*) et en alternance avec les terrasses alluvionnaires, dans les secteurs méandrés (*b*).

À l'entrée de la grotte, les processus de versant ont mené à la constitution d'un « barrage naturel » par l'accumulation des matériaux colluviaux, en déterminant un fort alluvionnement sur le tracé du cours d'eau souterrain et, implicitement, un soulèvement du niveau du lit. Cet effet a dû se maintenir pour un intervalle de temps assez long, en établissant ainsi une base d'érosion qui a mené à une relative stabilité du profil longitudinal du ruisseau souterrain dans le secteur affecté par l'alluvionnement, secteur qui coïncide d'ailleurs avec celui de la galerie à voûte plane-horizontale ; la karstification en profondeur a donc été remplacée ici par l'élargissement latéral de la galerie. Au fur et à mesure que le cône de matériaux de l'entrée de la grotte a été scié par les eaux (processus qui se poursuit aujourd'hui encore), le cours d'eau s'est enfoncé dans ses propres alluvions, en modelant au contact avec la roche les « terrasses inverses » qui apparaissent dans la voûte, ainsi que les terrasses alluvionnaires. Ces « terrasses inverses » sont situées d'habitude dans les parties concaves des méandres de la galerie, par opposition aux terrasses alluvionnaires qui se forment dans les parties convexes; il est pourtant possible que, dans les secteurs de galerie rectiligne, ces deux types de terrasses soient placés sur le même côté (Fig. 3, *a*). Le début du processus d'approfondissement du cours d'eau représente en même temps la fin du modelage de la voûte plane-horizontale.

3. La structure minéralogique de la roche a une influence distincte dans la genèse de la voûte plane-horizontale. Une structure homogène détermine une dissolution uniforme par unité de surface, tout comme l'hétérogénéité structurelle mène à des inégalités dans la dissolution du calcaire, avec d'importantes répercussions sur la forme qui en résulte.

K. H. Pffer et A. Gerstenhauer (1966) (cités d'après M. Bleahu, 1974) montrent, dans leur classification des roches calcaires concernant la résistance de celles-ci à l'attaque de l'eau, que les plus vulnérables sont les calcaires granulaires, à cristaux bien individualisés, tandis que les moins attaqués sont les calcaires compacts, auxquels on n'observe pas d'individus cristallins. La conservation de la voûte plane-horizontale est donc plus difficile dans les calcaires granulaires car, même à un contact de courte durée avec l'eau, les grandes possibilités d'attaque de celle-ci vis-à-vis de la roche déterminent des modifications dans la morphologie de la surface qui en est affectée. Entre « Les Eboulis » et « La Mire II » par exemple, où le calcaire a une structure porphyrique homogène, on remarque une planéité plus accentuée de la voûte par opposition au secteur compris entre « La Mire I » et « Le Débarcadère » où le calcaire présente un aspect granulaire non homogène et où la voûte est beaucoup plus rugueuse et présente un degré plus réduit de planéité (fig. 2, b).

4. Dans la genèse de la voûte plane-horizontale, un rôle très important revient au débit de l'écoulement, respectivement à la constance de celui-ci pour une période de temps suffisamment longue. Si la tectonique, la structure du calcaire et la pente du cours souterrain sont plutôt des facteurs statiques, le débit et l'activité des eaux représentent l'élément dynamique directement impliqué dans le processus morphologénétique analysé.

La constance du débit des eaux qui coulent le long d'un lit revêtu d'alluvions, impropre à une karstification en profondeur, fait possible la stabilisation de l'écoulement à la hauteur optimum de modelage de la voûte plane-horizontale ; cette hauteur est atteinte lorsque l'eau occupe presque toute la section de la galerie, ne laissant libre qu'un espace très restreint dans la partie supérieure de celle-ci, et correspond au passage de la phase d'écoulement sous pression à celle d'écoulement libre (fig. 4, a — b). Les

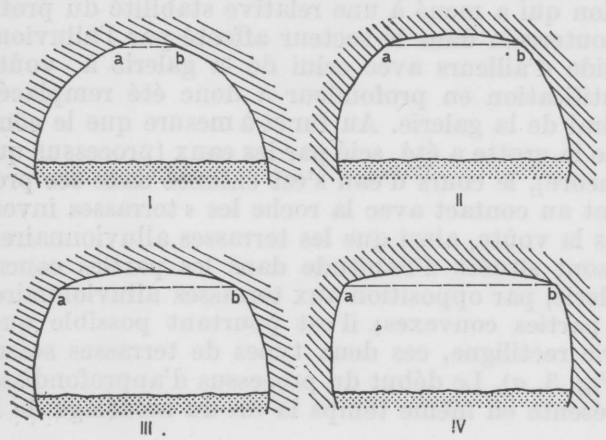

Fig. 4. — Phases successives de modelage de la voûte plane-horizontale (*a* — *b* = niveau optimum d'écoulement).

variations de longue durée du débit des eaux actionneraient dans ce cas comme des facteurs destructifs, défavorables : l'augmentation du débit mènera à l'instauration de l'écoulement sous pression, quand les formes primaires sont détruites à la suite de la tendance de creusement circulaire de la conduite de drainage, tandis que la réduction du débit sous limite optimum mènera au modelage des terrasses inverses, c'est-à-dire à des mar-

ches de roche situées au même niveau sur les deux cotés du cours d'eau. Par contre, les fluctuations de courte durée, saisonnières, du débit favorisent tel que nous allons le voir, le modelage de la voûte plane-horizontale.

Le passage de la forme circulaire de la galerie (résultant de l'écoulement sous pression) à celle de galerie à voûte plane-horizontale suppose l'effacement des deux arcades relativement symétriques par rapport à l'axe de l'écoulement (Fig. 4). Quand les eaux gardent longtemps le niveau optimum pour le modelage de la voûte (a — b), cet effacement est réalisé par l'action latérale de la dissolution, qui mène à une corrosion progressive de la roche. Il est possible que dans les conditions de l'écoulement libre, l'érosion intervient aussi comme processus morphogénétique, en complétant l'action de la dissolution.

L'effet de ces deux processus est plus important dans les zones de contact entre la surface de l'eau en écoulement libre et la roche où, la vitesse plus grande de celui-ci impose une turbulence plus accentuée (la vitesse diminuant sur le reste du périmètre mouillé par les eaux, à cause du frottement contre les parois). Dans ces conditions, les rapides variations de débit contribuent directement à l'accélération du processus de modelage, les augmentations du niveau des eaux ayant comme effet immédiat l'effacement des aspérités, ainsi qu'une humectation périodique de la voûte qui favorise les petits effondrements.

Dans la genèse de la morphologie d'ensemble de la voûte plane-horizontale, un rôle important a été joué par le méandrage du cours d'eau souterrain. Si le raccord entre les parois et la voûte est arrondi dans les

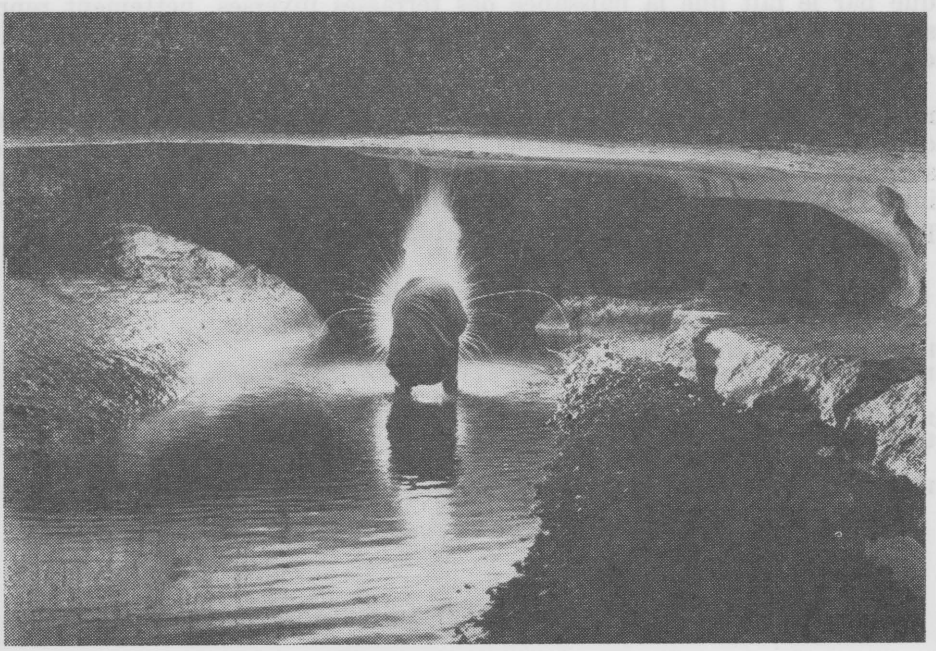

Fig. 5. — Voûte plane-horizontale de la *Peştera cu Apă din Valea Leşului* (on remarque à droite une terrasse inverse). Photo V. Crăciun.

secteurs relativement rectilignes de la galerie, il se fait à peu près en angle droit dans les secteurs concaves et il devient difficilement à délimiter, à cause de sa large courbure, dans les secteurs convexes du cours d'eau. La voûte est plus haute vers les bords concaves, les mesures clinométriques indiquant une descente du bord concave vers le bord convexe. La cause de cette différenciation morphologique réside dans le fait qu'au niveau des bords concaves les eaux entrainées par la force centrifuge élèvent leur niveau par rapport au bord convexe, en agissant ainsi avec plus d'intensité et sur une plus grande hauteur sur le calcaire et en générant une discrète irrégularité dans l'horizontalité de la voûte (Fig. 2, *b*).

La genèse de la voûte plane-horizontale a donc été possible dans les conditions d'un écoulement qui a occupé la section de la galerie sur toute sa largeur, auxquelles s'ajoute l'ensemble des facteurs discutés ci-avant qui ont dirigé l'évolution endokarstique vers le modelage de cette forme particulière. Par conséquent, une explication se basant sur un éventuel mouvement de translation en plan horizontal du lit du cours souterrain nous paraît peu plausible, car les méandres primaires de la galerie imposent une direction préférentielle d'écoulement et certains endroits de dépôt des alluvions. En plus, une telle explication suppose une grande uniformité dans le mouvement de translation, ce qui n'a qu'une très faible possibilité à se produire ; au cas contraire, la voûte doit présenter des irrégularités morphologiques, respectivement des zones restées non modelées. Or, les observations faites dans la grotte relèvent une relative stabilité du lit du ruisseau souterrain, mise en évidence par la couche stalagmitique qui couvre par endroits les terrasses alluvionnaires ainsi que par le fait que la naissance des terrasses inverses, nettement représentées dans la morphologie de la galerie, demande de même une stabilité de l'écoulement.

On peut ainsi en conclure que la voûte plane-horizontale est le résultat d'une karstification déroulée dans des conditions tout à fait particulières, concernant la tectonique, et la structure du calcaire et la longue stabilité du niveau d'écoulement du cours souterrain, conditions qui ont imprimé à la dissolution et à l'érosion une direction spécifique, illustrée par le caractère inédit de ce remarquable élément morphologique.

Bibliographie

1974 Bleahu M., *Morfologia carstică*. Ed. Ştiinţifică, Bucarest.
1959 Corbel J., *Erosion en terrain calcaire* (*Vitesse d'érosion et morphologie*). Ann. Géog., an LXVIII, nr. 366, p. 98—118.
1970 Morariu T., Pisota, I., Buta, I., *Hidrologie generală*. Ed. didact. şi pedag., Bucarest.
1958 Viehmann I., Plesa, C., *Peştera cu Apă din Valea Leşului — un nou monument al naturii*. Ocrotirea Naturii, nr. 3, p. 162—167.
1961 Viehmann, I., Serban, M., *Uber die Entstehung der flachen und horizontalen Höhlendecken*. Die Höhle, 12 Jahrg., H. 2/3, p. 72—73.

Institut de Spéologie
« E. Racovitza » — Section de Cluj
Reçu le 20 décembre 1974