SUR LE DÉTERMINISME MÉROCLIMATIQUE D'UN MICRORELIEF PARIÉTAL DE LA SALINE DE TURDA

GHEORGHE RACOVIȚĂ et MIRCEA PETRESCU

Description d'un ensemble de cannelures excavées en sel par suite de la turbulence qui accompagne la thermocirculation souterraine et de la dissolution due à l'eau de condensation. Discussion des conditions génétiques au niveau méroclimatique et estimation quantitative des effets de la condensation à partir de mesures thermo-hygrométriques.

1. INTRODUCTION

La Saline de Turda est creusée au voisinage immédiat de la ville dont elle a emprunté le nom (département de Cluj), dans un dépôt tortonien de sel qui se trouve à l'origine de la Valea Sărată, un petit affluent de l'Arieș. Commencée vraisemblablement à l'époque romaine, l'exploitation du sel s'est poursuivie durant tout le Moyen Age d'une manière à peu près invariable. La technique n'a été améliorée qu'après 1850, quand des ascenseurs furent installés pour faire monter les charges de sel et quand le profil en cloche des anciennes mines fut remplacé par un profil parallélépipédique ; à partir de 1858, une galerie de flanc fut percée pour le transport du sel à la surface. L'exploitation prit fin en 1932, sans que la saline soit pour cela abandonnée (T. Pânzaru, 1974). Elle a connu, par contre, d'autres utilités. Dans le secteur qui fait suite à l'entrée de la galerie a été aménagé un dépôt de produits laitiers. Puis, en 1989, l'Entreprise de Prospections et d'Exploration Géologiques de Cluj (IPEG) a fait percer à l'extrémité opposée de la même galerie une nouvelle ouverture, afin de créer une voi d'accès plus facile en vue d'une exploitation balnéo-touristique.

En conséquence, le système de cavités qui composent actuellement la Saline de Turda comprend d'une part la Galerie de Transport, pratiquement horizontale et totalisant environ 900 m de longueur, et d'autre part plusieurs vastes salles — les mines proprement dites—pourvues chacune de cheminées d'aérage et reliées à la galerie par de courts couloirs.

Après avoir été excavées et assurément après l'arrêt de l'exploitation du sel, toutes ces cavités sont devenues le siège d'un important processus de concrétionnement, de sorte qu'on y trouve actuellement une gamme assez large de formations cristallines. Mais ce qui nous a attiré spécialement l'attention lors d'une visite faite en mars 1990, c'est un microrelief particulier développé sur les parois d'un de ces couloirs de liaison. Il s'agit d'un ensemble de concavités parfaitement analogues aux alvéoles de corrosion décrites des cavités karstiques naturelles.

2. SITUATION TOPOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIE DU MICRORELIEF PARIÉTAL

Le couloir qui abrite les concavités s'étend sur une longueur qui dépasse à peine une dizaine de mètres, entre la partie supérieure de la chambre

Trav. Inst. Spéol. « Émile Racovitza », t. XXXI, p. 155—169, Bucarest, 1992

d'accès vers la « Mine Rudolf » et la base de la cheminée d'aérage de la « Mine Terezia » (fig. 1). Le microrelief pariétal dont il est question est donc strictement localisé. Ce couloir a une section carrée, d'environ 2 m de côté. Il n'est séparé de la surface que par les 15 m que mesure en hauteur la cheminée d'aérage, dont la section est du même ordre de grandeur.

Les concavités se développent sur toute la longueur du couloir, d'une façon symétrique sur les deux parois. Elles sont allongées en sens vertical, depuis l'angle de raccord d'entre la voûte et les parois et jusque vers la mi-

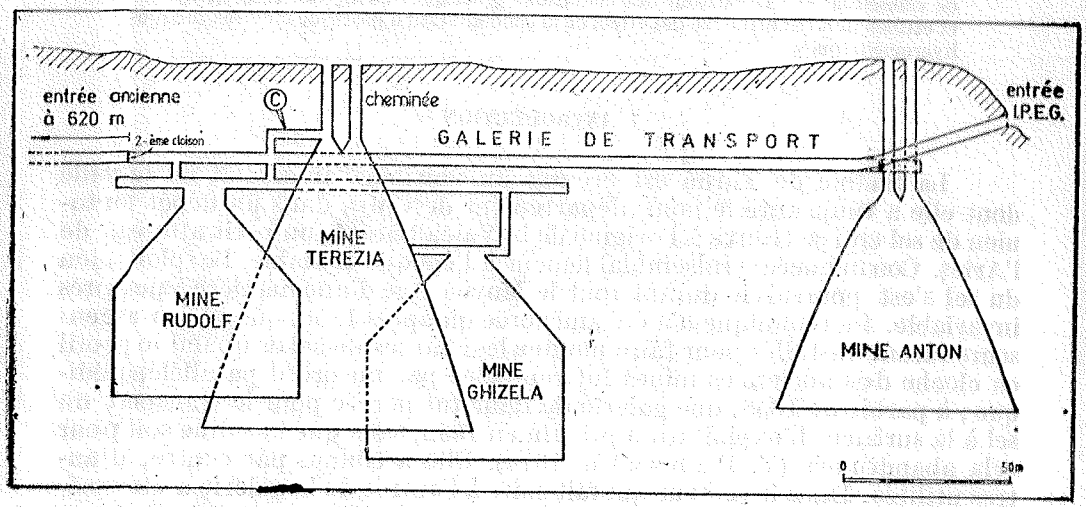

Fig. 1 — Profil schématique de la partie supérieure de la Saline de Turda. C = le couloir à cannelures.

hauteur de ces dernier (fig. 2). Leurs dimensions sont remarquables, puisqu'elles mesurent en moyenne 79 cm de longueur pour 53 cm de largeur. On doit donc les inclure dans la catégorie des cannelures, telles que celles-ci ont été définies par M. Șerban et M. Domșa (1985) parmi les microformes de corrosion identifiées dans les cavités karstiques. Notons aussi que ces cannelures montrent un haut degré d'homogénéité morphométrique, car leurs dimensions ne varient point d'une manière significative et, d'autre part, elles ont constamment leur moitié inférieure légèrement courbée vers la cheminée d'aérage.

Il faut remarquer, enfin, qu'à la base des parois s'étend un mince dépôt de sable marneux, ce matériel se retrouvant sous forme de couche très fine sur la surface des parois et provenant vraisemblablement des intercalations de la même nature qui sont bien visibles dans la structure stratigraphique du massif de sel.

3. GENÈSE DU MICRORELIEF PARIÈTAL

Le microrelief pariétal, représenté principalement par les alvéoles de corrosion (ou les vagues de corrosion si on se rapporte à ses formes positives), est mis dans le cas des cavités karstiques sur le compte de la turbu-

lence qui apparaît dans l'écoulement des eaux souterraines, que celui-ci se produise en conduite forcée où à face libre (M. Şerban et M. Domşa, 1985, M. Şerban, 1987). Néanmoins, certains auteurs ont placé à l'origine de ces microformes l'action corrosive de l'eau de condensation (K. Mais, 1976, A. Bögli, 1984) et c'est sans doute d'une telle hypothèse que doit partir tout essai d'explication pour la genèse des cannelures de la Saline de Turda, car dans le couloir où elles se trouvent il ne peut être aucunement question d'effects hydrauliques.

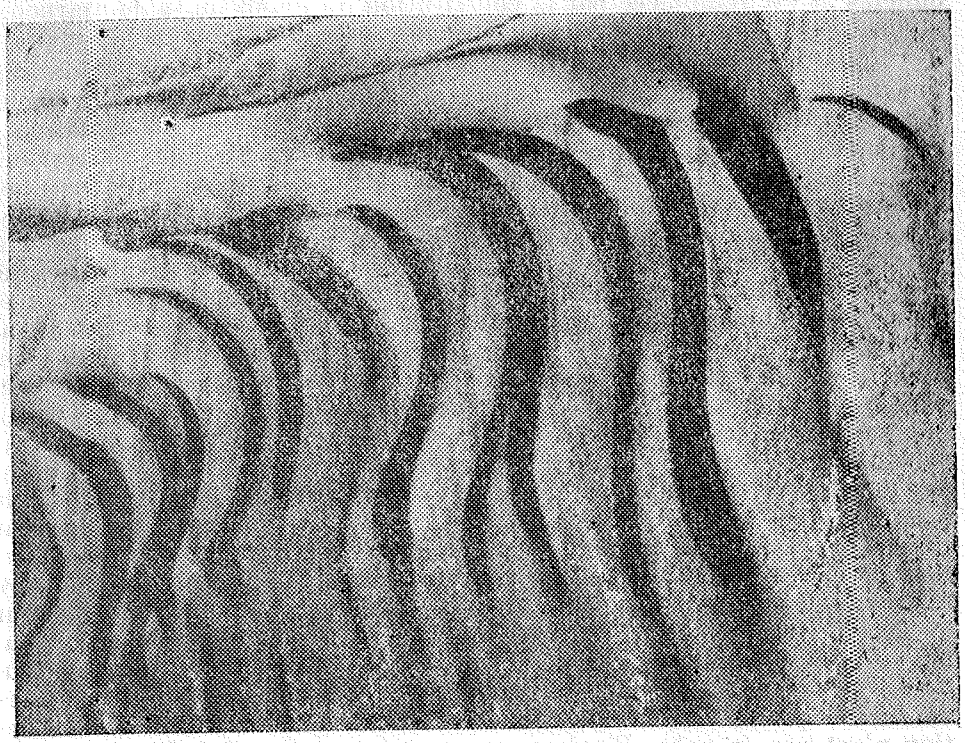

Fig. 2 — Aspect de l'ensemble de cannelures.

On doit donc supposer à priori que ces cannelures sont le résultat de la dissolution du sel par l'eau de condensation et, en même temps, de la turbulence qu'une ventilation souterraine fait naître dans l'atmosphère au contact avec les parois du couloir. Une telle supposition est pleinement confirmée par l'observation directe, et cela à plusieurs point de vue.

En effet, dans la Saline de Turda, la condensation est un phénomène qui devient frapant au cours de chaque été. Son intensité est telle qu'on voit l'eau s'égoutter du plafond et suinter abondamment sur les parois, en formant par endroits de larges flaques qui couvrent le plancher. Cette forte condensation se manifeste dans toutes les parties « profondes » de la Galerie de Transport et les couloirs adjacents, y compris celui à cannelures. Elle a, par ailleurs, comme conséquence particulière l'apparition d'une nette différenciation dans l'aspect des parois. En règle

générale, celles-ci sont lisses dans leur moitié ou leurs deux tiers supérieurs, de même que le plafond, tandis que leur partie inférieure este couverte d'une couche plus ou moins continue de concrétions cristallines. On comprend aisément que la vapeur qui condense de préférence au voisinage de la voûte dissout le sel, que celui-ci est transporté ensuite par suintement vers le bas des parois et qu'il est finalement redéposé sous forme d'agrégats cristalline par suite de la sursaturation de la solution. Et il est évident que ce processus n'est pas sans analogie avec la genèse des cannelures, à la différence que, dans leur cas, la phase de concrétionnement est remplacée par la constitution du dépôt de sable marneux, qu'on ne saurait mettre que sur le compte d'un phénomène d'ablation.

D'autre part, la Saline de Turda est la siège d'une ventilation souterraine parfaitement saisissable. En accord avec la topographie générale du réseau de cavités, l'observation montre que cette ventilation a en tant que composante principale une thermocirculation unidirectionnelle. Malheureusement, il est pratiquement impossible de reconstituer aujourd'hui les conditions dans lesquelles cette thermocirculations se déroulait lors de la formation des cannelures, car plusieurs changement y sont depuis intervenus. Au début, le réseau a eu comme ouverture inférieure l'entrée dans la Galerie de Transport et comme ouverture supérieure l'ensemble des cheminées d'aérage, la différence de niveau étant de l'ordre de 30 m. Mais après ce que le dépôt de produits laitiers fut aménagé, à son extrémité fut montée une cloison en bois qui obtura la section de la Galerie de Transport. Elle est sur place à présent encore et, au moment où on ouvre la porte dont elle est prévue, un fort courant d'air s'installe incessamment, en nous permettant d'estimer ainsi à quelle intensité pouvait arriver la ventilation de la saline en absence de tout obstacle limitant les échanges aérodynamiques. Ensuite, la galerie excavée par l'IPEG a ouvert une nouvelle voie de communication avec l'extérieur. Comme elle suit un plan incliné, son extrémité se place à mi-hauteur entre la cote de l'éntrée ancienne et celle des cheminées d'aérage (fig. 1). Pour le début, la nouvelle ouverture s'est ajoutée au point de vue aérodynamique à ces cheminées, en augumentant sensibilement la thermocirculation potentielle et en altérant par conséquent les conditions de conservation des produits laitiers, car la cloison dont nous venons de faire mention n'est pas étanche. Finalement, cet inconvénient fut éliminé par la construction d'une seconde cloison, placée toujours sur le trajet de la Galerie de Transport, mais à seulement 270 m de l'entrée IPEG. Cette dernière est devenue donc l'ouverture inférieure du réseau, de sorte que le sens de la thermocirculation s'est inversé dans le secteur « profond » de la Galerie de Transport, tout en restant inchangé dans les couloirs supérieurs de la saline, y compris celui à cannelures. Mais cette thermocirculation se trouve actuellement fortement réduite à cause de la diminution de la différence de niveau d'entre les deux catégories d'ouvertures; on l'a voit même facilement perturbée par les très fréquents coups de vent qui se produisent à la surface, où la Valea Sărată s'enfonce à peine dans le large plateau environnant.

Quoiqu'il en soit, il n'y a aucun fait qui puisse nous empêcher d'admettre que la Saline de Turda a rempli durant son histoire les conditions requises par une ventilation souterraine dont la vitesse a dépassé le seuil

au-delà duquel apparaît la turbulence. Et comme la condensation ne fait ni actuellement défaut, nous croyons être en droit d'en conclure que notre hypothèse concernant la genèse des cannelures reçoit l'appui des faits. Il nous reste seulement à essayer de détailler ces faits et aussi de leur donner une expression quantitative.

4. ÉTUDE MÉROCLIMATIQUE DU COULOIR À CANNELURES

Afin d'aboutir à ce but, nous avons élaboré un programme de recherches de climatologie souterraine, qui a été poursuivi sur la durée d'une année, depuis octobre 1990 et jusqu'en octobre 1991.

Les mesures ont été effectuées mensuellement en deux stations, aux deux extrémités du couloir. Elles ont compris :

— psychrométrie dans l'axe du couloir, au voisinage du plancher et de la voûte (psychromètre Assmann) ;

— thermométrie dans l'axe du couloir, avec lectures à 0 m, 0,5 m, 1 m, 1,5 m et 2 m de hauteur (thermomètre électronique de 0,1°C de précision) ;

— thermométrie dans la couche de contact et à la surface des parois de sel, au voisinage du plancher et du plafond (même instrument) ;

— condensométrie dans l'axe du couloir.

Les paramètres thermo-hydrométriques de référence de l'extérieur ont été déterminés par des mesures psychrométriques faites toujours au niveau de l'ouverture absorbante, c'est-à-dire à celui de la cheminée d'aérage de la « Mine Terezia » en été et à celui de l'entrée IPEG en hiver.

4.1. TEMPÉRATURE DE L'AIR

La caractéristique la plus remarquable des variations thermométriques qu'on observe dans l'atmosphère souterraine est que, malgré la proximité de la surface, ces variations sont de très faible anvergure au cours de l'année, leur amplitude étant en moyenne inférieure à 2 C déjà à la station 1 (du côté de la cheminée) (tab. 1, fig. 3). Néanmoins, les valeurs suivent fidèlement l'évolution de la température externe, avec augmentation significative au cours de l'été, quand la thermocirculation est descendante, et avec uniformisation visible entre les deux stations pendant l'hiver, dans le contexte d'une ventilation ascendante. Dans ces conditions, le gradient de température qu'on peut déceler le long du couloir a, outre son changement normal de sens, des aspects spécifiques pour chaque saison. Il s'agit principalement du fait que, si on le retrouve en été sur toute la section du couloir (avec un dfférence maximum de température entre les deux stations de 0,5 C, enregistrée au niveau du plafond en août 1991), il est limité en hiver à la partie supérieure de cette section (la différence maximum, enregistrée en février 1991, étant de 0,6°C, donc du même ordre de grandeur).

Cette particularité, qui ne peut pas être mise sur le compte de la thermocirculation, a pour cause un apport hivernal d'air froid, dû a des courants locaux de convenction qu'on observe dans la cheminée et qui

Tableau 1

Température de l'air et humidité relative

Date	Extérieur		St. 1 p.		St. 1 v.		St. 2 p.		St. 2 v.	
	t°C	H%	t°C	H%	t°C	H%	t°C	H%	t°C	H%
03.10.1990	18,7	68	10,4	81	11,2	80	10,5	81	11,1	80
05.11.1990	8,6	97	10,0	86	10,9	82	10,1	84	10,8	84
29.11.1990	9,8	73	10,2	76	10,9	75	10,2	88	10,8	73
20.12.1990	0,8	100	9,7	72	9,6	70	9,7	80	10,5	72
29.01.1991	−1,0	79	9,5	67	9,6	65	9,5	70	9,9	65
26.02.1991	1,6	96	9,3	69	9,1	70	9,3	73	9,7	69
26.03.1991	14,6	61	9,4	76	9,7	72	9,4	76	9,8	72
08.05.1991	15,2	73	9,9	73	10,2	73	9,9	76	10,4	77
23.05.1991	19,4	64	10,3	76	10,7	75	10,0	76	10,6	75
28.06.1991	23,2	65	10,4	73	11,3	74	10,2	75	11,2	76
29.07.1991	20,0	78	10,7	73	11,6	73	10,4	73	11,2	72
20.08.1991	21,4	49	10,7	76	11,4	70	10,5	75	10,9	72
08.10.1991	14,6	59	10,0	76	10,5	75	10,0	74	10,6	70

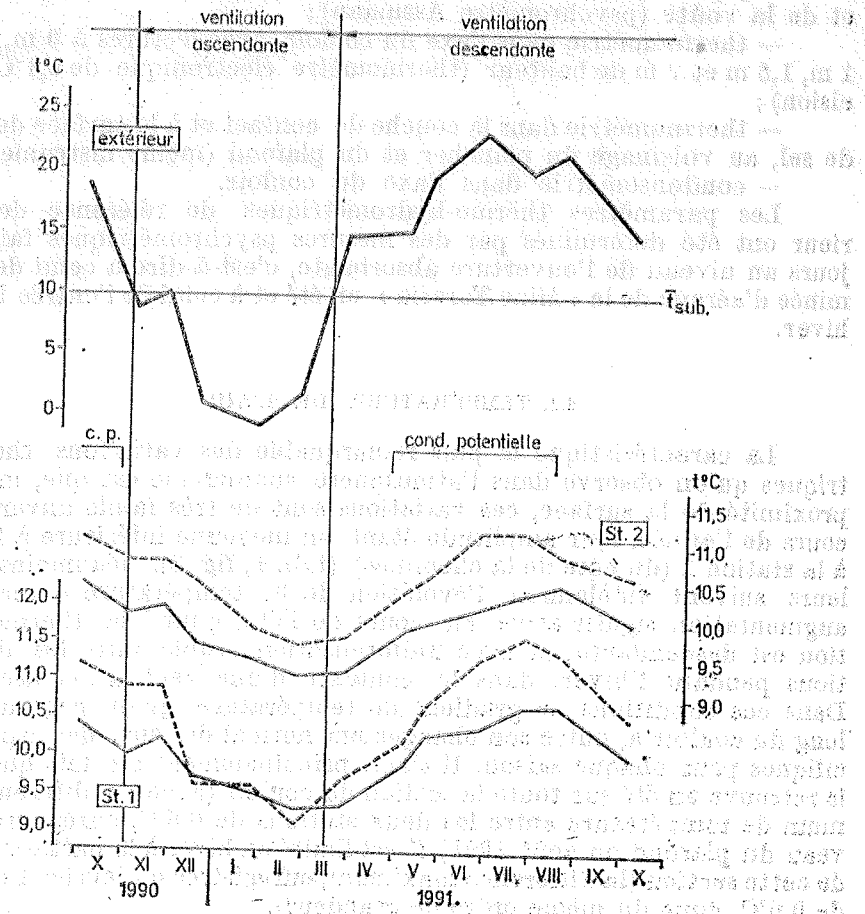

Fig. 3 — Variation au cours de l'année de la température de l'air à l'extérieur et dans le couloir à cannelures, au voisinage du plancher (trait continu) et du plafond (trait interrompu), avec délimitation des deux phases dans la thermocirculation souterraine. $\bar{t}_{sub.}$ = température moyenne à la surface des parois de sel.

sont probablement l'effet des coups de vent de l'extérieur. Et il apparaît que cet air froid, qui descend jusqu'au fond de la « Mine Terezia », n'arrive pas à influencer les températures qu'on mesure au niveau de la voûte à l'autre extrémité du couloir (station 2).

Il s'ensuit que c'est au voisinage du plancher qu'on trouve les perturbations minima, et que ce sont les mesures faites à ce niveau en hiver qui sont les plus représentatives pour l'état d'équilibre thermique de l'atmosphère souterraine. La moyenne qu'on y obtient pour l'intervalle décembre 1990 — mai 1991 est de 9,6°C. C'est donc cette valeur qu'il convient de considérer comme point de référence pour les variations de la température externe afin d'établir les moments d'inversion du sens de la thermocirculation. On identifie ces moments l'un au début du novembre 1990, et l'autre au mi-mars 1991 (fig. 3). Au moins dans les conditions météorologiques propres au cycle annuel que prend en considération notre étude et dans celles de mesures momentanées, la durée de la saison estivale, avec ventilation descendante qui puisse induire un phénomène de condensation dans le couloir à cannelures, dépasse par conséquent celle de la saison hivernale.

Les particularités que nous avons remarquées ci-dessus au sujet des gradients thermométriques horizontaux se manifeste aussi en ce qui concerne les gradients verticaux (tab. 2, fig. 4). Considérés à partir des moyennes saisonnières calculées sur les cinq séries de mesures, ces gradients montrent une augmentation linéaire de la température vers le plafond, à l'exception de celui établi pour la station 2 en hiver, qui a une très légère allure exponentielle. Dans tous les cas, cette augmentation est de l'ordre des dixièmes de degré.

Des différences plus significatives apparaissent si on se rapporte à des moments caractéristiques pour chaque saison, à savoir ceux quand on enregistre les minima et les maxima thermométriques ; il se placent en février, respectivement en juillet 1991. Ces valeurs momentanées condui-

Tableau 2

Gradients thermiques verticaux dans l'atmosphère souterraine

Date	Station 1					Station 2				
	0,0 m	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	0,0 m	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m
03.10.1990	10,4	10,6	10,9	11,0	11,2	10,5	10,6	10,7	10,8	11,1
05.11.1990	10,0	10,0	10,1	10,3	10,9	10,1	10,1	10,2	10,5	10,8
29.11.1990	10,2	10,2	10,4	10,5	10,9	10,2	10,4	10,3	10,5	10,8
20.12.1990	9,7	9,8	9,8	9,8	9,6	9,7	9,8	10,0	10,3	10,5
29.01.1991	9,5	9,6	9,8	9,8	9,6	9,5	9,7	9,8	9,8	9,9
26.02.1991	9,3	9,4	9,4	9,3	9,1	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7
26.03.1991	9,4	9,4	9,5	9,6	9,7	9,4	9,4	9,5	9,5	9,8
08.05.1991	9,9	10,0	10,0	10,0	10,2	9,9	10,0	10,1	10,1	10,4
23.05.1991	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,0	10,2	10,4	10,5	10,6
28.06.1991	10,4	10,7	10,8	11,0	11,3	10,2	10,5	10,7	10,9	11,2
29.07.1991	10,7	10,9	11,0	11,2	11,6	10,4	10,6	10,8	11,0	11,2
20.08.1991	10,7	10,9	11,0	11,2	11,4	10,5	10,6	10,8	10,9	10,9
08.10.1991	10,0	10,2	10,3	10,4	10,5	10,0	10,1	10,2	10,4	10,6
Moy. hiver.	9,68	9,73	9,83	9,88	9,97	9,70	9,80	9,88	10,03	10,25
Moy. estiv.	10,34	10,53	10,64	10,77	10,99	10,21	10,37	10,53	10,66	10,86

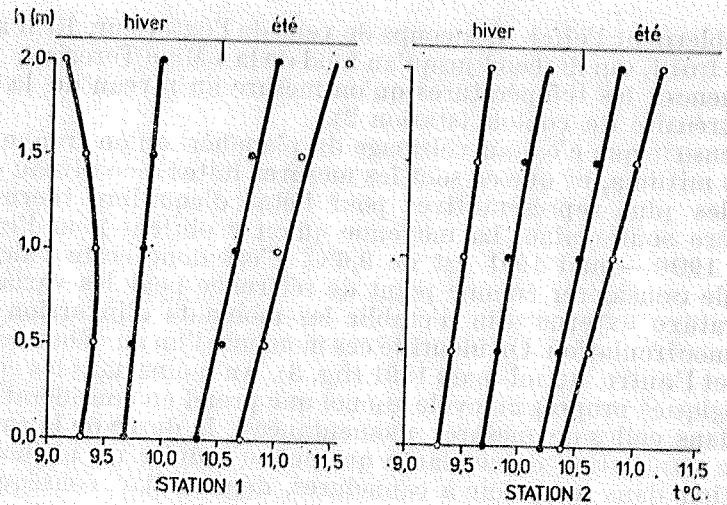

Fig. 4 — Gradients thermométriques verticaux. Points noirs = = valeurs saisonnières moyennes; cercles = valeurs messurées le 26 février et le 29 juillet 1991.

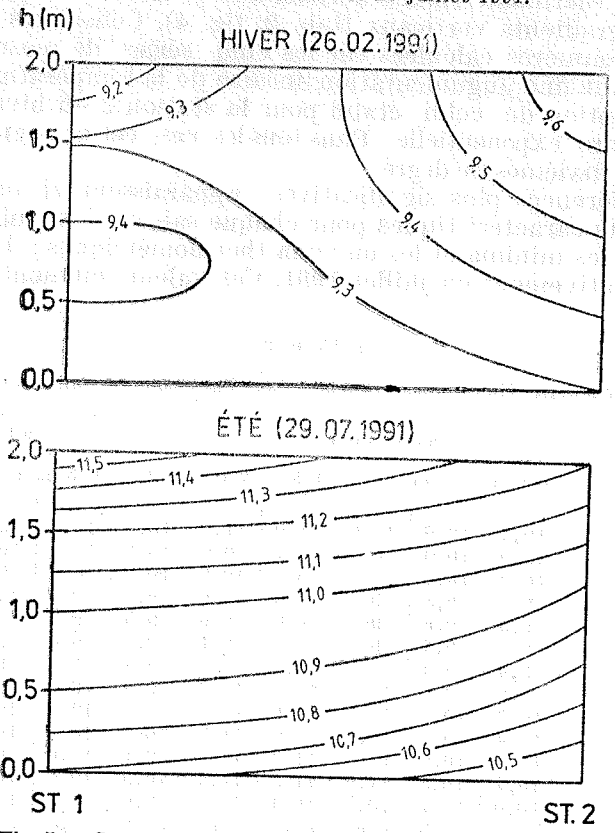

Fig. 5 — Configuration saisonnière des isothermes dans le couloir à cannelures.

sent en hiver à un gradient parabolique à la station 1 et à un gradient linéaire à la station 2, ce qui met nettement en évidence les perturbations produites au voisinage du plafond par la convection locale. En été, le gradient est de type exponentiel à la station 1 (avec des valeurs réelles qui montrent au niveau de 2 m une augumentation de la température encore plus forte que celle donnée par le modèle théorique), pour en redevenir linéaire à la station, 2, ce qui relève l'effet du courant immergent d'air chaud. Cet effet se traduit donc par une stratification thermique dans l'atmosphère souterraine bien plus accentuée en régime estival qu'en régime hivernal, et il est très clairement illustré par la configuration que prendent les isothermes tracées à partir des mesures faites dans chacune des deux saisons (fig. 5). Malgré cela, la plage de température que couvre le gradient estival n'est au maximum que de 1,2°C, ce qui — par rapport aux fortes amplitudes externes — reste insuffisant pour imprimer des différences dans les conditions qui engendrent le processus de condensation. La localisation de ce phénomène dans la partie supérieure de la section du couloir dépend donc en premier lieu de la concentration au voisinage de la voûte du courant immergent d'air chaud. Nous allons revenir d'ailleurs sur cet aspect.

4.2. TEMPÉRATURE DES PAROIS ET DE LA COUCHE DE CONTACT

La variation de la température mesurée le long d'un cycle annuel à la surface des parois de sel (tab. 3, fig. 6) ne met en évidence aucun décalage notable par rapport à l'évolution de la température de l'atmosphère souterraine dans l'axe du couloir et, par conséquent, ni de celle de la température externe. On ne peut constater qu'un certain retardement dans le début de la phase estivale d'augmentation des valeurs thermométriques au niveau des parois, début qui se place en juin alors que, dans la thermométrie de l'air, la même phase commence en mars. Comme cette unique différence est parfaitement logique dans le régime de ventilation de la saline, car elle est forcément due au fait que le massif de sel a une capacité calorique supérieure à celle de l'air, il s'ensuit que la température des parois dépend en premier lieu de la convection souterraine et non pas d'une conduction à travers les couches de sel, malgré la faible épaisseur de ces dernières.

En ce qui concerne les valeurs absolues, la température des parois s'avère inférieure à la température de la couche de contact, en moyenne de 0,3°C et sans que cet écart présent des variations significatives le long de l'année ou d'un point de station à l'autre. Il a toutefois une légère tendance d'accroissement au niveau de la voûte, mieux marqué à la station 2, où il atteint 0,5° C.

A son tour, la température de la couche de contact est soumise à des variations plus atténuées, plus régulières que celles qu'on enregistre dans l'axe du couloir (à 0 m et, respectivement, à 2 m de hauter), sans que l'amplitude de ces variations soit pour autant plus faible. Il en est sans doute question d'un effet-tampon que le massif de sel exerce sur l'état thermique de la couche de contact. On voit, par ailleurs, que les trois valeurs thérmométriques (de l'air dans l'axe du couloir, de la couche de contact et des parois) sont plus rapprochées en régime hivernal, lorsque la ventilation est ascendante, et plus différenciées en régime estival, quand

la ventilation descendante fait place à des perturbations externes. Cette observation reste de même valable en la rapportant uniquement à la température du sel. En hiver, les mesures faites aux quatres points de

Tableau 3

Température dans la couche de contact et à la surface des parois de sel

Date	St. 1 p.		St 1 v.		St. 2 p.		St. 2 v.	
	air	sel	air	sel	air	sel	air	sel
03.10.1990	—	10,5	—	10,5	—	10,5	—	10,4
05.11.1990	—	9,5	—	9,6	—	9,6	—	9,6
29.11.1990	—	9,8	—	9,8	—	9,8	—	9,9
20.12.1990	—	9,6	—	9,6	—	9,7	—	9,7
29.01.1991	9,6	9,5	9,6	9,6	9,6	9,6	10,0	9,7
26.02.1991	9,5	9,2	9,4	9,3	9,5	9,3	9,8	9,4
26.03.1991	9,7	9,4	9,9	9,4	9,7	9,4	10,0	9,5
08.05.1991	9,5	9,4	9,6	9,5	9,6	9,3	9,8	9,4
23.05.1991	9,8	9,6	10,1	9,6	9,7	9,4	10,6	9,5
28.06.1991	10,8	10,3	11,2	10,5	10,4	9,9	10,7	10,1
29.07.1991	11,0	10,7	11,5	11,0	10,8	10,4	11,2	10,6
20.08.1991	11,0	10,9	11,4	11,1	10,9	10,6	11,1	10,8
08.10.1991	10,6	10,4	11,0	10,7	10,6	10,1	10,6	10,2

station n'indiquent guère des différences suppérieures à 0,2°C. En été, et plus exactement à partir du mois de juin, on constate en revanche que des gradients thermométriques se constituent en plan autant horizontal que vertical. L'écart qu'ils impliquent n'est pas de beaucoup plus important (0,4—0,9°C en sens positif dans le premier cas, 0,2—0,3°C en sens négatif dans le second), mais il est constant, ce qui nous amène à en conclure que le potentiel de condensation est légèrement plus grand au voisinage du plancher. Tel que nous l'avons vu, ce fait reste cependant sans aucune conséquence sur la localisation spatiale de la condensation en tant que phènoméne réel.

4.3. HUMIDITÉ RELATIVE

L'état hygrométrique de l'atmosphère souterraine comporte deux particularités remarquables, les deux dues vraisemblablement à la capacité hygroscopique du massif de sel.

La première concerne les valeurs absolues, qui, dans la couloir à cannelures, restent comprises à l'exception près entre 65 et 85% (tab. 1 fig. 7). Elles sont donc tout le long de l'année bien inférieures au point

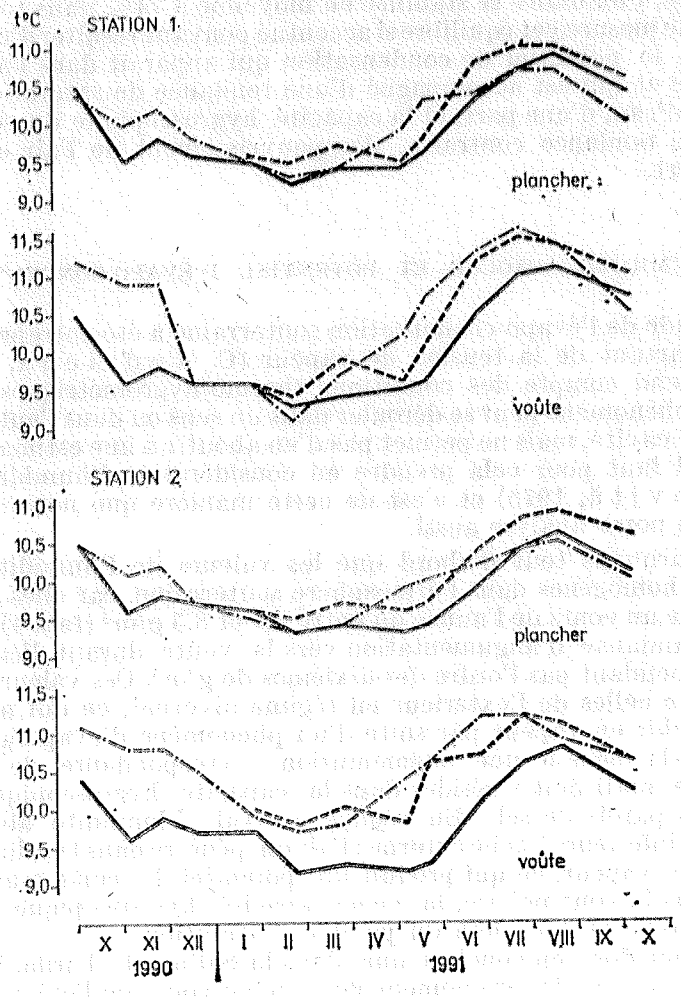

Fig. 6 — Variation au cours de l'année de la température à la surface des parois de sel (trait continu), dans la couche de contact (trait interrompu) et dans l'axe du couloir (trait mince ponctué).

de saturation et cela sans aucun rapport avec l'humidité externe. En outre, des mesures psychrométriques supplémentaires ont montré qu'il en est de même dans n'importe quel point de la saline ; le phénomène est donc général.

La seconde particularité est liée aux variations hygrométriques. On voit l'humidité relative diminuant en hiver, alors que l'abaissement de la température dans les conditions d'une ventilation ascendante devrait normalement conduire à une augmentation des valeurs hygrométriques.

Puis, en été, l'humidité se stabilise en moyenne à 74% dans tous les quatre points de mesure, cet équilibre si accentué pouvant résulter d'une interaction entre le potentiel de condensation qui apparaît dans l'atmosphère souterraine et qui est accompagné d'une tendance de saturation de l'air en vapeur d'eau, d'une part, et la capacité hygroscopique du sel, qui engendre une tendance contraire, d'appauvrissement de l'air en vapeur, d'autre part.

4.4. HUMIDITÉ ABSOLUE ET POTENTIEL D'ÉVAPO-CONDENSATION

L'étude de l'évapo-condensation souterraine a été entreprise d'habitude en partant de la tension de vapeur (C. Andrieux, 1970). La méthode rend compte des conditions thermo-hygrométriques dans lesquelles le phénomène peut se dérouler dans un sens ou dans l'autre à l'intérieur d'une cavité, mais ne permet pas d'en aboutir à une estimation quantitative. Il faut pour cela prendre en considération l'humidité absolue (G. Racoviță, 1975) et c'est de cette manière que nous allons procéder dans notre analyse aussi.

Remarquons tout d'abord que les valeurs de l'humidité absolue sont assez homogènes dans l'atmosphère souterraine, car elles ne varient en moyenne au cours de l'année qu'entre 6,0 et 8,3 g/m³ (tab. 4), avec une certaine tandance d'angumentation vers la voûte durant l'été, qui ne dépasse cependant pas l'ordre des dixièmes de g/m³. Ces valeurs sont plus grandes que celles de l'extérieur en régime hivernal, ce qui montre que l'air s'enrichit en vapeur par suite d'un phénomène d'évaporation, mais sans que cela mène à une augmentation correspondante de l'humidité relative. Le motif doit y résider dans la capacité hygroscopique déjà invoquée des parois de sel. En régime estival, l'humidité absolue souterraine est inférieure à celle externe ; l'air qui pénètre dans la saline s'appauvrit donc en vapeur, ce qui produit un potentiel de condensation. Mais, tel que nous l'avons précisé, la même capacité hygroscopique maintient l'humidité relative bien loin du point de saturation.

On peut donc en conclure que, dans la Saline de Turda, la condensation dans l'air est théoriquement possible au cours de l'été, mais qu'elle est pratiquement supprimée par l'effet hygroscopique. L'observation confirme d'ailleurs pleinement cette conclusion, car on ne voit jamais de brouillard se former ni dans les galeries, ni dans les grandes salles de mine. De plus, les condensomètres montés dans le couloir à cannelures sont restés secs durant tout le long de l'été. Par conséquent, le phénomène de condensation apparaît comme strictement localisé au niveau de la surface des parois.

Cette précision étant une fois faite, le premier pas dans l'analyse quantitative de la condensation souterraine est d'établir la longueur de l'intervalle durant lequel le phénomène peut se produire. On obtient cette longueur en rapportant la température externe de rosée (calculée à partir de la température et de l'humidité relative réelles) à la température moyenne des parois de sel (fig. 8). Sur la base de ce rapport, la condensation se montre potentiellement possible en octobre 1990, puis durant l'intervalle avril-août 1991. Ce résultat impose deux remarques.

Tableau 4

Humidité absolue (en g/m³), température de rosée (en °C) et potentiel d'évapocondensation (Δ f, en g/m³)
fa = humidité absolue dans l'atmosphère souterraine, correspondant à la température et à l'humidité relative réelles; f's = valeurs de saturation de l'humidité absolue, correspondant à la température des parois de sel (données moyennes calculées sur les quatre points de mesure).

Date	f ext.	t rosée ext.	$\overline{fa}$	Δf_1 fe—$\overline{fa}$	$\overline{f's}$	Δf_2 fe—$\overline{f's}$
03.10.1990	11,01	12,6	7,90	3,11	9,61	1,40
05.11.1990	8,27	8,1	8,06	0,21	9,07	—0,80
29.11.1990	6,72	4,8	7,51	—0,79	9,22	—2,50
20.12.1990	5,20	0,8	6,80	—1,60	9,12	—3,92
29.01.1991	3,63	—4,1	6,08	—2,45	9,09	—5,46
26.02.1991	5,25	1,0	6,28	—1,03	8,92	—3,67
26.03.1991	7,62	6,8	6,72	0,91	8,99	—1,37
08.05.1991	9,47	10,2	7,01	2,46	8,97	0,50
23.05.1991	10,84	12,4	7,22	3,62	9,05	1,79
28.06.1991	13,57	15,9	7,30	6,27	9,44	4,13
29.07.1991	13,69	16,0	7,22	6,47	9,73	3,96
20.08.1991	9,28	9,9	7,22	2,06	9,84	—0,56
08.10.1991	7,37	6,3	7,00	0,37	9,53	—2,16
Moyenne *	11,89		7,19	4,71	9,30	2,60

* Valeurs moyennes calculées pour l'intervalle avec potentiel de condensation sur les parois (08.05.1991 — 29.07.1991).

Premièrement, que la période favorable à la condensation débute environ un mois plus tard que la saison à ventilation descendante (fig. 3). Ce fait est normal et ne tient acunement à ce que certains auteurs ont nommé « le retardement des influences externes sur le climat souterrain » (I. Vieemann, 1976, J. Choppy, 1981); il est dû simplement à l'inexistence d'un rapport direct entre la manière dont la température de l'air détermine d'une part la densité de celui-ci et d'autre part sa tension de vapeur saturantes. Un « retardement » similaire existe de même en ce qui concerne l'apparition de la condensation directement observable, qui ne s'est manifestée qu'à partir du mois de juin. Ce décalage doit être vraisemblablement mis sur le compte du fait que l'eau de condensation commence par être retenue hygroscopiquement par les parois et qu'elle n'arrive à y suinter qu'après ce que la couche superficielle de sel atteint l'état de saturation.

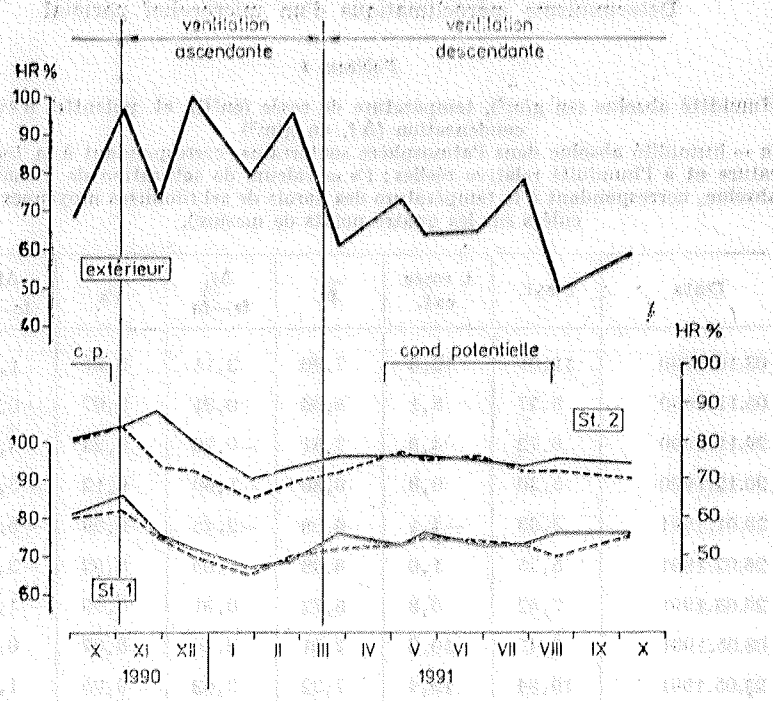

Fig. 7 — Variation au cours de l'année de l'humidité relative à l'extérieur et dans l'atmosphère souterraine. Mêmes explications que pour la fig. 3.

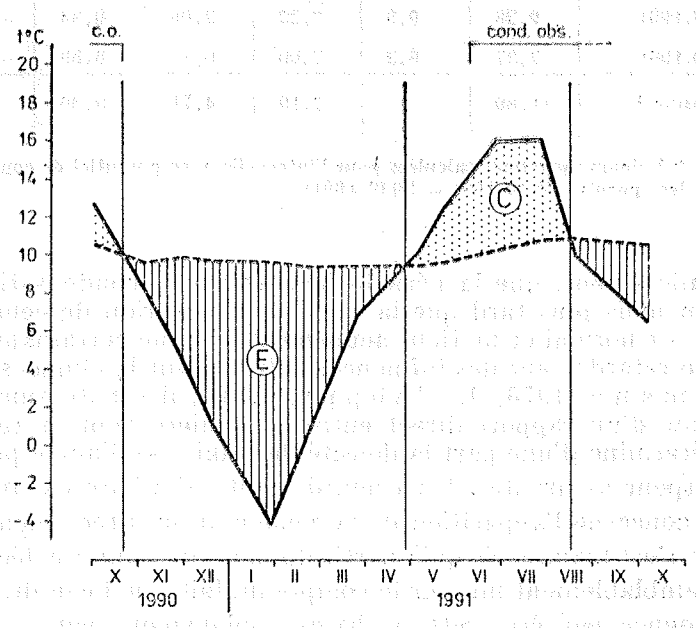

Fig. 8 — Evolution du rapport entre la température de rosée de l'extérieur (trait continu) et la température moyenne à la surface des parois de sel (trait interrompu). E = évaporation; C = condensation; c.o. = condensation observée.

Deuxièmement, que la fin de cette période ne se place au mois d'août que d'une façon accidentelle, déterminée par l'humidité relative extrêmement basse mesurée à ce moment à l'extérieur (tab. 1), alors que dans la saline on voyait encore l'eau suintant abondamment sur les parois. Par ailleurs, l'observation rend mal compte de l'arrêt effectif du phénomène de condensation, car les parois doivent mettre un certain temps pour sécher complètement après ce que ce phénomène soit supprimé et c'est précisément pour cette raison que la fin de la condensation réelle n'est pas nettement marquée sur la figure 8 : en octobre 1991, les parois du couloir à cannelures étaient encore humides, mais l'eau n'y suintait plus.

Quoi qu'il en soit, le calcul quantitatif de la condensation ne peut être effectué qu'en nous rapportant aux valeurs thermo-hygrométriques déterminées pour l'intervalle dans lequel il y a potentiel de condensation, c'est-à-dire entre le 8 mai et le 29 juillet 1991 (tab. 4). Durant cet intervalle, l'air externe contient en moyenne 11,9 g/m³ de vapeur, alors qu'à l'intérieur du couloir à cannelures on n'en trouve que 7,2 g/m³. Cela donne lieu à un potentiel de condensation de 4,7 g/m³, mais, tel que nous l'avons vu, l'humidité relative moyenne de seulement 74% rend ce potentiel purement théorique. D'autre part, le taux de vapeur saturantes correspondant à la température moyenne des parois est de 9,3 g/m³. Il s'ensuit que l'humidité absolue de l'atmosphère souterraine est insuffisante pour qu'un phénomène de condensation puisse se produire sur le substratum de sel, mais qu'un tel phénomène devient parfaitement possible si on se rapporte à l'humidité absolue de l'extérieur, donc au contenu en vapeur de l'air qui pénètre par thermocirculation dans le couloir et qui arrive en contact avec la surface de ses parois ; la valeur moyenne du potentiel de condensation est dans ce cas de 2,6 g/m³.

En admettant une vitesse de ventilation de l'ordre de 1 m/s et en prenant en calcul une section du couloir de 2 m² de superficie (en fait, la moitié supérieure de cette section, dans laquelle se placent les cannelures), nous obtenons un débit des échanges aérodynamiques de 2 m³/s, soit 5 184 000 m³ en 30 jours, et une quantité totale de 13 500 l d'eau formée par condensation sur la durée d'un mois. Cette quantité doit être répartie sur toute la surface des substratums affectés par la condensation, qu'on peut estimer à 2 750 m² (pour une longueur cumulée des couloirs de 500 m et une section active de 1,5 m de hauteur et de 2 m largeur), ce qui nous amène finalement à apprécier l'intensité de la condensation à 5 l/m²/mois. A cette valeur il convient peutêtre d'appliquer une correction, déduite du fait que l'humidité relative souterraine est bien inférieure au point de saturation. On peut donc penser que 25% de la quantité d'eau qui prend naissance par condensations est retenue hygroscopiquement par le massif de sel. Dans ce cas, il en reste 3,75 l d'eau à suinter sur 1 m² de parois durant 1 mois.

En tant que valeur moyenne, ce résultat nous paraît être en bonne concordance avec la réalité du phénomène physique. Un dispositif analogue à un condensomètre, mais ayant la surface de condensation remplacée par un entonnoir pour capter directement les gouttes d'eau qui se détachent du plafond, monté vers le milieu du couloir, a accumulé en effet un minimum de 760 ml en juillet (l'eau ayant débordé du cylindre

gradué), 460 ml en août et 70 ml en septembre. Quoique la surface de plafond alimentant le dispositif soit indéterminable, on ne saurait imputer à ces valeurs une manque de signification.

Notre étude méroclimatique arrive ainsi à amplifier l'argumentation sur laquelle s'appuie l'hypothèse que nous avons avancée pour expliquer la genèse du microrelief pariétal si particulier de la Saline de Turda.

BIBLIOGRAPHIE

1970 ANDRIEUX C., *Contribution à l'étude du climat des cavités naturelles des massif karstiques. III. Evapo-condensation souterraine.* Ann. Spéléol., **25**, 3, 531—559.

1984 BÖGLI A., *Fliessfazetten — ein karsthydrographisches wichtiges Merkzeichen des Fliessverhaltens von Karstwasser.* Die Höhle, **35**, 3—4, 119—126.

1981 CHOPPY J., *Interprétation des mesures climatiques dans la Grotte Constantino Doria (N, 3875 VG), publiées par S. Polli.* Atti Mem. Commis. Grotte « E. Boegan », **XX**, 21—53.

1976 MAIS K., *Vorläufige Beobachtungen über Kondenswassercorrosion in der Schlenkendurchgangshöhle (Salzburg, Österreich).* Proc. 6th Int. Congr. Speleol., Olomouc, 1973, **III**, 203—208.

1974 PÂNZARU T., *Complexul lacustru « Valea Sărată » (Turda).* Lucr. st., Seria A, Matem. Fiz. Geogr., Oradea, 81—98.

1975 RACOVIȚĂ G., *La classification topoclimatique des cavités souterraines.* Trav. Inst. Spéol. « E. Racovitza ». **XIV**, 197—216.

1987 ȘERBAN M., *Wall microrelief in caves — effect of turbulence.* Theor. Appl. Karstol. **3**, 9—30.

1985 ȘERBAN M., DOMȘA M., *Sur le microrelief de corrosion de la Peștera Vîntului (Monts Pădurea Craiului, Roumanie).* Theor. Appl. Karstol., **2**, 97—121.

1976 VIEHMANN I., *Dix ans de recherches périodiques dans une grotte de glace (la Grotte de Scărișoara, Roumanie).* Proc. 6th Int. Congr. Speleol., Olomouc, 1973, **IV**, 323—327.

Institut de Spéologie « E. Racovitza »
Section de Cluj

Reçu le 15 février 1992