

Le CO₂ de l'air d'une grotte des Alpes ligures :
La Caverna delle Fate

Premières mesures (¹)

par Michel GEWELT

Aspirant du Fonds National de la Recherche Scientifique

et Camille EK

Chef de travaux à l'Université de Liège

RESUME. — *Vingt-quatre mesures de la teneur de l'air en CO₂ ont été effectuées dans une grotte de la région méditerranéenne. Les teneurs observées varient de 350 à 1500 ppm ; ces faibles valeurs sont mises en relation avec la circulation d'air dans la grotte et avec l'éloignement relatif de la source de CO₂.*

Les valeurs trouvées dans la Caverna delle Fate sont comparées avec les teneurs observées dans d'autres zones climatiques.

ABSTRACT. — *Twenty-four measurements of atmospheric CO₂ were carried out in a cave of the mediteranean region. The CO₂ contents range from 350 to 1 500 ppm ; these low values are correlated with the circulation of the air in the cave and with the relative distance of the CO₂ source.*

The values found in the Caverna delle Fate are compared with those found in other climatic zones.

RIASSUNTO. — *Vintiquattro misure del tenore di CO₂ nell'aria sono stati effettuate in una grotta nella regione del Mediterraneo. Il tenore osservato oscilla tra 350 e 1 500 ppm ; questi deboli valori sono stati correlati con la circolazione dell'aria nella grotta e con il relativo allontanamento della sorgente di CO₂.*

I valori misurati nella Caverna delle Fate sono confrontati con i tenori osservati in altre zone climatiche.

(¹) Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, place du Vingt-Août, 7, B-4000 Liège, Belgique.

INTRODUCTION

Les Alpes ligures, qui dominent la partie orientale du golfe de Gênes, sont riches en phénomènes karstiques. Ceux-ci sont particulièrement développés notamment dans le calcaire miocène dit Pietra di Finale.

La Caverna delle Fate, à Verzi, près de Finale Ligure, est un site paléontologique et archéologique dans ce calcaire miocène. Grâce aux indications de MM. Guido Imperiale, Giuseppe Vicino et Daniele Arobba, nous y avons fait quelques recherches au cours d'un camp de stage destiné aux étudiants en géographie de l'Université de Liège ⁽²⁾.

Les dosages de dioxyde de carbone, au nombre de 24 seulement, ont été faits en deux jours, en septembre. Ils doivent évidemment être suivis de mesures en d'autres saisons mais il nous paraît utile de présenter dans cette note préliminaire les données déjà obtenues.

I. — LA CAVERNA DELLE FATE

En Ligurie, les phénomènes karstiques sont particulièrement imposants dans la Pietra di Finale (Miocène), le calcaire de Val Tanarello (Jurassique) et la dolomie de San Pietro dei Monte (Trias), surtout le long de la côte du golfe de Gênes et dans son arrière-pays immédiat (A. Boni *et al.*, 1971).

C'est dans la première de ces formations qu'est creusée la Caverna delle Fate, qui s'ouvre dans une paroi abrupte à 2 km de la mer, à Verzi (Finalese), à l'altitude de 260 m.

La Pietra di Finale (M³⁻² de la carte géologique italienne) est, au site étudié, un calcaire vacuolaire bioclastique à coraux et codiacées, blanc, rosé ou rougeâtre, à intercalations gréseuses. Elle repose sur un complexe de base, essentiellement constitué d'un conglomérat polygénique. Celui-ci s'appuie en discordance sur des calcaires jurassiques de la série briançonnaise : la dalle miocène constitue une plaque subhorizontale (pendage de 0 à 6°) reposant sur le calcaire jurassique à fort pendage nord.

⁽²⁾ Ce camp, organisé par le Laboratoire de Géographie physique et le Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Liège, était dirigé par M. A. Ozer, Mme J. Alexandre et les deux auteurs de cette note.

Ont collaboré aux observations, aux mesures et aux discussions : MM^{lles} Anne Gillet, Françoise Jacob, Catherine Lemièrre, Lily Meyers, Claire Périlleux, Véronique Renard et Claire Van der Kaa, et MM. Eric Franck, Olivier Gobert, Gérard Lemin, Vincent Renard et Christian Van Brabant.

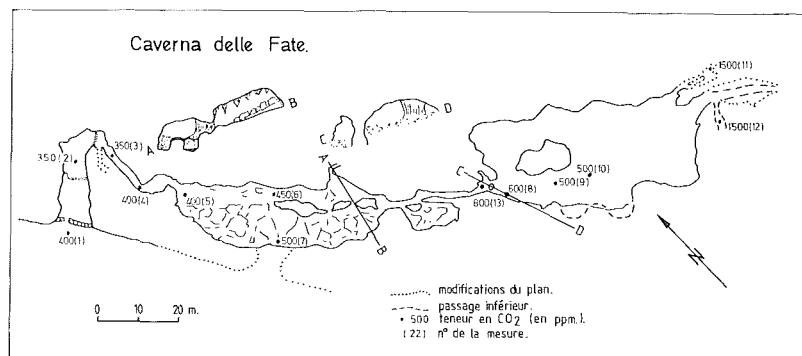


FIG. 1. — Teneurs de l'air en CO₂. Mesures du 13 septembre 1982.
Plan d'après G.B. Amerano (1891); compléments par C. Ek et M. Gewelt.

La Caverna delle Fate (fig. 1) se présente comme une vaste cavité plutôt subhorizontale, longue de 200 m, entre l'entrée principale et le point le plus éloigné atteint par nous, et d'un développement d'environ 260 m, autant que nous ayons pu en juger.

La salle d'entrée, largement ouverte sur l'extérieur, a environ 24 m de long, 5 m de largeur moyenne et 11 m de hauteur maximum. Son fond est tapissé de dépôts détritiques, de travertin et de planchers stalagmitiques. On y a déjà mis à jour une faune comportant de l'ours des cavernes, du lion des cavernes et des vestiges néolithiques et paléolithiques. Une campagne archéologique y est en cours (voir A. Boni *et al.*, 1971, et G. Vicino, 1982).

Au-delà de la salle d'entrée, la grotte est essentiellement constituée comme suit : un premier couloir donne accès à une première grande salle (d'environ 50 m de long) au fond de laquelle un second couloir conduit à une seconde grande salle (d'environ 60 m de long), que prolongent d'étroites galeries terminant - à notre connaissance - la cavité. La première grande salle communique avec l'extérieur par une ouverture de plusieurs mètres de large. La grotte, en effet, se développe plus ou moins parallèlement à la paroi dans laquelle elle s'ouvre, et qui est allongée à peu près nord-ouest-sud-est. La grotte présente dans toutes ses parties des vestiges évidents d'un creusement par l'eau, mais dans les deux salles une morphologie d'effondrements s'est largement développée ; dans la partie interne de la grotte, les dépôts les plus visibles (à part les blocs effondrés, parfois énormes) sont essentiellement constitués d'argile.

L'importance des effondrements, en particulier dans la première grande salle, nous semble en relation avec la proximité de la paroi limitant la dalle miocène dans laquelle est creusée la grotte. La figure 1 montre en effet que la première salle n'est qu'à une distance faible, de l'ordre d'une dizaine de mètres, de la bordure du massif. Il est dès lors possible que le développement de

la première salle soit lié à l'ouverture de fissures parallèles à l'escarpement limitant la dalle, fissures qui ont pu se développer grâce à la décompression du massif causée par l'important creusement des vallées qui l'entourent.

La deuxième grande salle présente moins d'effondrements, et ceci est peut-être lié au fait qu'elle est à une distance un peu plus grande de la bordure du massif.

II.— METHODE

Les dosages du CO_2 de l'air ont été effectués avec un détecteur de gaz GASTEC. Cet appareil est constitué d'une pompe manuelle à piston qui aspire 100 ± 5 ml d'air à travers un tube réactif contenant un indicateur coloré. La teneur de l'air en dioxyde de carbone est lue directement en ppm/par volume et elle correspond à la longueur de la zone colorée. Pour les faibles teneurs en CO_2 , de 300 à 5 000 ppm, on utilise les tubes réactifs 2 LL (*extra low range*) et pour les teneurs plus élevées, les tubes *low-range* (2 L) permettant de mesurer de 2 500 à 30 000 ppm (0,25 à 3 % vol.). Avec le premier modèle de tube réactif, le CO_2 réagit avec l'hydrazine : $\text{CO}_2 + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{NH}_2 - \text{NH}.\text{COOH}$, réaction qui décolore un indicateur redox en violet. Le second modèle est basé sur la neutralisation d'hydroxide de potassium par le gaz carbonique : $\text{CO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, réaction qui décolore un indicateur pH de l'orange au jaune. La précision minimale garantie par le constructeur est de ± 25 %, mais l'étalonnage de l'appareil montre une précision supérieure et une reproductibilité des mesures à 10 % près (C. Ek *et al.*, 1981). Le temps nécessaire pour une mesure est de 2 ou 3 minutes, suivant le tube réactif utilisé.

La pompe à soufflet DRÄGER, basée sur le même principe de la coloration de tubes indicateurs, est très généralement utilisée en Allemagne (F.D. Miotke, 1974) et en France (P. Renault, 1982).

Antérieurement, le dosage du CO_2 de l'air était effectué par électrolyse d'une solution de NaCl ayant absorbé le CO_2 d'un échantillon d'air (H. Koepf, 1952 ; F. Hilger, 1963 ; F. Delecour, 1965 ; C. Ek *et al.*, 1968 ; F. Delecour *et al.*, 1968). Cette méthode offre une meilleure précision : $\pm 0,1$ mg CO_2 /l, soit environ ± 60 ppm (C. Ek, 1981), mais elle est nettement plus longue et plus lourde à mettre en oeuvre. L'appareillage nécessaire en dosage pèse plus de 10 kg contre moins de 0,5 kg pour le détecteur GASTEC.

III.— RESULTATS

Deux séries de mesures ont été effectuées les 13 et 14 septembre 1982 (Tableaux I et II).

TABLEAU I. — Mesures de la teneur de l'air en CO₂ le 13 septembre 1982.

n°	LOCALISATION	H cm	CO ₂ mg/l	CO ₂ ppm
1	Au-dessus de la garrigue, à 4 m de l'entrée de la grotte.	200	0,73	400
2	Dans la salle d'entrée, à 17 m de l'entrée de la grotte.	200	0,64	350
3	Premier couloir, à 20 cm du plafond <u>Rmq.</u> : courant d'air très sensible en direction de la salle d'entrée.	80	0,64	350
4	Même couloir, 10 m plus loin. <u>Rmq.</u> : le courant d'air est moins violent car le couloir est plus haut (170 cm) et plus large (400 cm).	20	0,73	400
5	Entrée de la première grande salle, à 20 cm du plafond.	200	0,73	400
6	Dans le bas de la même salle.	20	0,82	450
7	Dans le haut de la même salle, à 20 cm du plafond et à 10 m de l'air libre, près de la seconde entrée.	120	0,92	500
8	Deuxième grande salle, à 5 m de la sortie du couloir bas de jonction (face à l'inscription "IL VA SAVONA")	170	1,10	600
9	Dans la même salle, à une dizaine de mètres du point précédent (face à l'inscription "STANZA KENNEDY").	170	0,92	500
10	Dans la même salle, à une dizaine de mètres du point précédent, vers le fond de la cavité.	20	0,92	500
11	Fissure dans un couloir à l'extrémité sud-est de la même salle. Mesure faite à 30 m de profondeur dans la fissure.	150	2,75	1500
12	Petite galerie basse s'ouvrant à l'extrémité sud de la deuxième salle et remontant vers l'ouest.	20	2,75	1500
13	Dans le couloir de jonction des deux grandes salles, à 2 m de l'entrée de la deuxième grande salle.	20	1,46	800

Mesures effectuées avec la collaboration de Mlles F.JACOB,
C.LEMIERE, C.PERILLEUX et MM. O.GOBERT, V.RENARD et C. VAN BRABANT.

TABLEAU II. — Mesures de la teneur de l'air en CO₂ le 14 septembre 1982.

n°	LOCALISATION	H cm	CO ₂ mg/l	CO ₂ ppm
14	Fissure au bout d'un couloir très étroit près de la salle d'entrée.	20	2,01	1100
15	Étroit couloir à l'extrémité sud de la deuxième grande salle. Le couloir a 30 cm de haut et 100 cm de large en cet endroit.	5	2,38	1300
16	Petite salle au bout d'un couloir au-dessus du précédent, même lieu.	30	2,38	1300
17	Fissure descendante dans un couloir à l'extrémité sud-est de la deuxième grande salle, en dessous du point 11. Ceci est le point le plus bas atteint par nous dans la grotte.	5	2,56	1400
18	Dans la deuxième grande salle, contre la paroi, à une dizaine de mètres du couloir de jonction.	15	0,92	500
19	Dans la partie supérieure de la même salle, à 200 cm du plafond.	300	1,37	750
20	Fissure horizontale à 5 m du point 18, dans la même salle.	5	1,65	900
21	Fissure horizontale peu profonde, concrétionnée, dans la partie supérieure de la même salle.	5	1,10	600
22	Partie supérieure de la même salle, à une quinzaine de mètres de sa paroi sud.	150	0,92	500
23	Fissure profonde dans la partie supérieure de la même salle, à 6 m environ de sa paroi sud.	5	1,65	900
24	Dans le bas de la même salle, à une dizaine de mètres du couloir de jonction.	5	1,28	700

Mesures effectuées avec la collaboration de Mlles A.GILLET, V.RENARD, C.VAN DER KAA et MM. E.FRANK, O.GOBERT, G.LEMIN.

Les équipes étaient constituées de quatre personnes dont trois restaient toujours en arrière du mesureur. Celui-ci est seul à pénétrer dans les étroitures et dans les petites galeries. Lorsque les mesures sont effectuées dans des endroits confinés, l'appareil est laissé sur le sol (H = 5 cm) et l'opérateur peut s'en éloigner. Ces précautions sont nécessaires pour éviter la contamination de l'air par le CO₂ respiratoire. Pour améliorer la fiabilité des mesures, le port d'un masque

muni d'un absorbeur de CO₂ (chaux sodée) semble la meilleure solution. Des contaminations non négligeables ont en effet été observées (C. Ek et M. Gewalt, inédit) en comparant des mesures faites avec et sans absorbeur de CO₂. Dans le cas de mesures dans des fissures, les valeurs peuvent dépasser le triple de la teneur réelle, après quelques expirations à proximité de la fissure.

Dans la même optique, les moyens d'éclairage par combustion (acétylène, . . .) sont systématiquement écartés au profit de l'éclairage électrique.

Les tableaux I et II fournissent une description des endroits de prélèvement et la hauteur (H) par rapport au sol des salles et galeries. La majorité des mesures sont faites soit à hauteur d'homme ($170 < H < 200$ cm), soit au niveau du sol ($5 < H < 20$ cm).

Le 13 septembre (tableau I), la teneur de l'air atmosphérique extérieur est de 400 ppm au-dessus de la garrigue. Dans la grotte, les teneurs varient de 350 ppm dans la salle d'entrée à 1 500 dans la salle distale. Dans l'ensemble, on constate une légère croissance vers le fond de la grotte.

Le lendemain (tableau II), les mesures essentiellement effectuées dans la deuxième grande salle s'échelonnent de 500 à 1 400 ppm. Une fissure proche de la salle d'entrée a une teneur de 1 100 ppm.

Ces teneurs sont, au total, assez faibles ; aucune mesure ne montre une teneur supérieure à 5 fois celle de l'air extérieur.

IV.— DISCUSSION

A.— LES MESURES DANS LA CAVERNA DELLE FATE

Comme le montre la figure 1, la plupart des mesures indiquent des teneurs peu élevées, de 350 à 800 ppm par volume, qui sont distribuées de manière relativement homogène. Les mesures aux points 2 à 7 sont localisées entre les deux entrées, dans une partie de la grotte qui est soumise à une forte aération. Cette disposition particulière peut expliquer les faibles teneurs de l'air en CO₂ (de 350 à 500 ppm). Les deux mesures les plus fortes (1 500 ppm) sont situées à l'extrémité distale de la caverne, dans une fissure (point 11) et dans une petite galerie confinée (point 12). Le point de mesure 13 (800 ppm) est localisé entre les deux grandes salles, dans un couloir de jonction étroit et très bas de plafond (environ un mètre).

La comparaison des mesures faites près du sol avec celles qui sont faites à hauteur d'homme ne montre aucune stratification des teneurs mesurées, aucun gradient vertical évident.

Si les valeurs observées dans la salle d'entrée et dans le premier couloir (350 ppm) sont légèrement inférieures à celle de l'extérieur (400 ppm), la pré-

cision des mesures rend cependant ces données tout à fait comparables. La teneur de l'air extérieur en CO_2 (400 ppm) est légèrement supérieure à la valeur moyenne généralement observée (300 ppm), probablement en raison de la présence de la garrigue en contrebas du point de mesure.

Le 14 septembre (fig. 2), on retrouve dans les couloirs distaux (en cul-de-sac ?) les assez fortes teneurs de la veille. Les mesures aux points 15, 16 et 17 (1 300 à 1 400 ppm) sont même légèrement inférieures, ce qui indique qu'aucune contamination mesurable de l'air de la grotte par le CO_2 respiratoire des opérateurs ne s'est produite. Les mesures 18 et 22 (500 ppm) sont comparables à celles de la veille (points 6, 7 et 11) et confirment cette hypothèse.

Dans l'ensemble, on retrouve donc les mêmes valeurs modestes que celles du jour précédent. Deux mesures à 900 ppm sont cependant observées dans deux fissures proches de la paroi extérieure.

Ces deux séries de mesures sont ponctuelles et seulement représentatives d'une situation particulière. Cependant, on est étonné par la faible teneur de l'air de la grotte en CO_2 . Cette situation est certainement due à l'aération importante (2 entrées) dont jouit la caverne. L'éloignement de la grotte de la source du CO_2 contribue probablement aussi à expliquer les faibles teneurs observées. Le sol, en tant que source du CO_2 (activité respiratoire des végétaux et des autres organismes, fermentation, oxydation de matières mortes, . . .), est séparé de la grotte par la dalle karstifiée du Miocène qui forme une paroi subverticale à la base de laquelle se développe la cavité. Aussi, durant son trajet par gravité vers la grotte, le CO_2 a de multiples possibilités d'échappement vers l'air libre. Cette aération peut se produire tant au niveau de la caverne qu'au niveau de la roche surincombante.

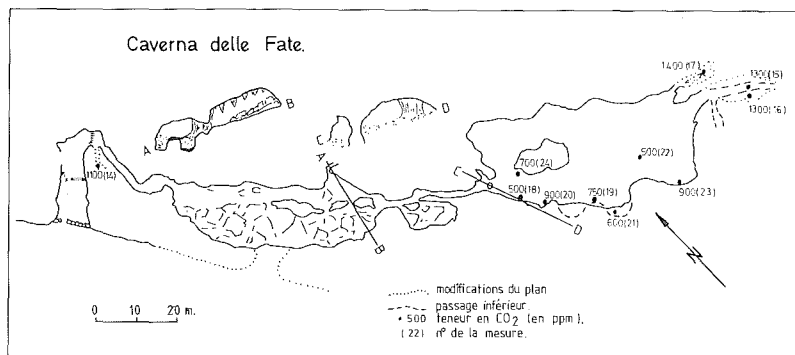


FIG. 2. — Teneurs de l'air en CO_2 . Mesures du 14 septembre 1982. Plan d'après G.B. Amerano (1891); compléments par C. Ek et M. Gewalt.

B.— COMPARAISONS AVEC DES GROTTES SITUÉES SOUS D'AUTRES CLIMATS

Les mesures de CO₂ en grottes ne sont pas encore disponibles en grandes quantités sous tous les climats. On peut cependant citer quelques exemples.

1.— *Au Kentucky*, F.D. Miotke (1974) donne des chiffres allant de 300 à 1 300 ppm, généralement de 400 à 800 en été et de 400 à 600 en hiver, à Mammoth Cave et dans le Flint Ridge Cave System, c'est-à-dire dans le plus long complexe spéléologique du monde. Les mesures ont très probablement été prises dans des salles et galeries. Les chiffres estivaux sont très semblables à ceux de la Caverna della Fate.

2.— *En France*, P. Renault (1971 et 1982) cite des chiffres en général beaucoup plus élevés. Si, à la grotte de Moulis (Ariège, au pied des Pyrénées), les teneurs ne varient qu'entre 200 et 4 400 ppm, dans une série d'autres grottes (en Dordogne, en Ardèche et dans le Gard), les chiffres cités vont de 200 à 66 000 ppm, mais se tiennent le plus souvent au-dessus de 5 000 ppm.

3.— *Dans l'Iowa*, W.C. Lewis (1981) observe dans une grotte située sous des terres cultivées de fortes teneurs en CO₂ : de 5 000 à 25 000 ppm. Ces fortes teneurs seraient liées à un important apport de matières organiques lors de chaque pluie. Les maximums sont observés en été.

4.— *En Belgique* (C. Ek *et al.*, 1968 ; C. Ek, 1979), les teneurs observées, sur 300 analyses publiées, atteignent, en dehors des pollutions par la respiration humaine, un maximum de 6 000 ppm ; les teneurs varient généralement, dans les salles et les galeries, entre 600 et 4 000 ppm.

Les teneurs sont, en été, assez fréquemment plus hautes qu'à la Caverna della Fate, surtout dans les fissures, où, en Belgique, on observe fréquemment plus de 2 500 ppm en été.

5.— *Dans l'Ouest de l'Ukraine*, A. Klimchuk *et al.* (1981) trouvent, dans des grottes de la dépression pré-carpatique, des teneurs allant de 500 à 42 000 ppm. Dans deux des grottes étudiées, les teneurs sont fortes (de 1 700 à 42 000 ppm) ; ces valeurs seraient dues à la production de méthane par des micro-organismes anaérobiques dans des grottes creusées dans le gypse. Dans les autres grottes étudiées, les teneurs vont de 500 à 3 100 ppm.

6.— *Dans les Tatras polonaises*, à la fonte des neiges (seule saison investiguée), C. Ek *et al.* (1969) observent des teneurs très faibles : entre 200 et 1 100 ppm, sauf une seule mesure, dans une fissure (près de 2 000 ppm).

7.— *Au Québec* (C. Ek, 1981), 200 analyses révèlent des teneurs systématiquement faibles ou modestes : dans les salles et galeries, en été comme en hiver, les chiffres vont de 500 à 1 100 ppm. Dans les fissures, les teneurs vont de 900 à 2 800 ppm en été et de 1 200 à 2 200 en hiver. Seule une grotte dont l'entrée était complètement obstruée (C. Ek *et al.*, 1981), à Montréal, a montré

des teneurs atteignant, en dehors de la pollution par la respiration humaine, 3 500 ppm.

Comme on le voit, les comparaisons entre mesures faites par des auteurs différents dans différents pays sont bien difficiles. Les mesures de septembre à la Caverna delle Fate donnent des valeurs assez comparables aux grandes grottes du Kentucky et aux grottes québécoises en été, et légèrement plus faibles que les valeurs observées dans les salles et galeries des grottes belges. Les grottes françaises, ukrainiennes et la grotte décrite dans l'Iowa sont plus riches en CO₂. Les grottes des Tatra polonaises sont plus pauvres à la sortie de l'hiver.

BIBLIOGRAPHIE

- BONI A., CERRO A., GIANOTTI R. et VANOSSI M., 1971. — *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100 000. Foglio 92-93 Albenga-Savona*. Servizio geologico d'Italia, Roma, 142 p.
- DELECOUR F., 1965. — Détermination des activités biologiques par la méthode de Koepf. Standardisation et essai de la technique de dosage du CO₂. *Note de recherche n° 2*. Centre d'Écopédologie forestière, Gembloux.
- DELECOUR F., WEISSEN F. et EK C., 1968. — An electrolytic field device for the titration of CO₂ in air. *The National Speleological Society Bulletin*, 30, pp. 131-136.
- EK C., 1979. — Variations saisonnières des teneurs en CO₂ d'une grotte belge : le Trou Joney à Comblain-au-Pont, *Annales de la Soc. géologique de Belgique*, 102, pp. 71-75.
- EK C., 1981. — Mesures de CO₂ dans l'air des grottes : comparaison Québec-Belgique, *Eighth International Congress of Speleology*, U.S.A., vol. 2, pp. 672-673.
- EK C., DELECOUR F. et WEISSEN F., 1968. — Teneur en CO₂ de l'air de quelques grottes belges. Technique employée et premiers résultats, *Annales de Spéléologie*, 23, pp. 243-257.
- EK C., GILEWSKA S., KASZOWSKI L., KOBILECKI A., OLEKSYNOWA K. et OLEKSYNOWNA B., 1969. — Some analyses of the CO₂ content of the air in five Polish caves, *Zeitschr. für Geomorphologie*, 13 (3), pp. 267-286.
- EK C., CARON D. et ROBERGE J., 1981. — La forte teneur en gaz carbonique de l'air d'une cavité du Québec : la grotte de Saint-Léonard, île de Montréal, *Le Naturaliste canadien*, 108, pp. 57-63.
- HILGER F., 1963. — Activité respiratoire des sols équatoriaux. Application de la méthode respirométrique *in situ*, *Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux*, 31, pp. 154-182.
- KLIMCHUK A.B., YABLOKOVA N.L. et OLSHTYNSKY S.P., 1981. — The regularities in the formation of gas composition of the air in the large karst caves of Podolia and Bukovina, *Eighth International Congress of Speleology*, U.S.A., vol. 1, pp. 21-23.

- KOEPF H., 1952. — Laufende Messung der Bodenatmung im Freiland, *Land. Forsch.*, 4, pp. 186-194.
- LEWIS W.C., 1981. — Carbon dioxide in Coldwater cave, *Eighth International Congress of Speleology*, U.S.A., vol. 1, pp. 91-92.
- MIOTKE F.D., 1974. — Carbon dioxide and the soil atmosphere, *Abh. Karst- u. Höhlenkunde*, Reihe A, 9, pp. 1-49.
- RENAULT P., 1979. — Mesures périodiques de la pCO₂ dans les grottes françaises au cours de ces dix dernières années, *Actes du Symposium intern. sur l'érosion karstique*, U.I.S., Aix-en-Provence-Marseille-Nîmes, pp. 17-32.
- RENAULT P., 1982. — CO₂ atmosphérique karstique et spéléomorphologie. Intérêt pour les spéléologues, *Revue belge de Géogr.*, 106, pp. 121-130.
- VICINO G., 1982. — Il paleolitico inferiore in Liguria, *Atti della XXII Riunione scientifica dell'Istituto italiano di Preistoria e Protostoria Firenze*, Firenze, pp. 109-122.
-

