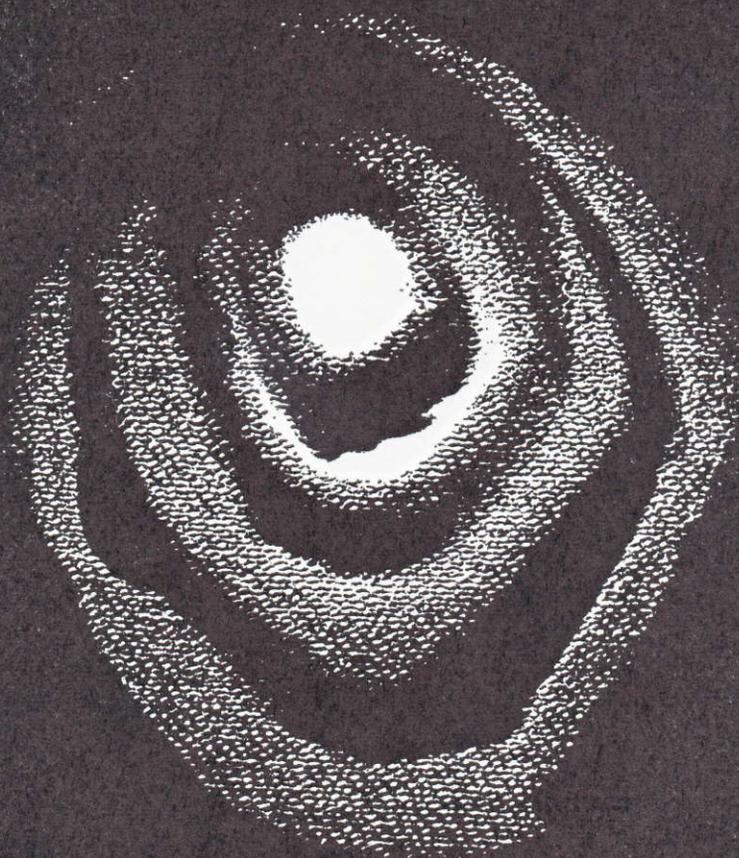


CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ANNALES DE SPÉLÉOLOGIE

REVUE TRIMESTRIELLE
TOME 23 — FASCICULE 1 — 1968

EXTRAIT



*LABORATOIRE SOUTERRAIN
MOULIS-ARIÈGE*

TENEUR EN CO₂ DE L'AIR DE QUELQUES GROTTES BELGES. TECHNIQUE EMPLOYÉE ET PREMIERS RÉSULTATS,

par C. EK, F. DELECOUR et F. WEISSEN.

Analyse.

Description d'une technique de dosage du CO₂ de l'air. L'appareil, utilisé par les agronomes et les pédologues pour l'analyse de l'air du sol, est, sous terre, d'un emploi aisé et rapide. La détermination est basée sur le titrage électrolytique du CO₂ d'un volume connu d'air, absorbé dans une solution 0,1 N de NaCl. Tout l'appareillage est contenu dans un coffret portatif, pesant en ordre de marche, une quinzaine de kilogrammes.

Les premières mesures réalisées en grotte avec cet appareil ont montré des valeurs allant de celle de l'atmosphère libre (env. 0,56 mg CO₂/l air) à 19 fois plus. Les valeurs supérieures à 6 mg/l ne se présentent guère que dans les fissures et semblent bien en relation avec des apports de CO₂ d'origine organique. Dans l'ensemble des parties non spécialement confinées des grandes cavités, la teneur est de moins de 4 mg/l. Quelques exemples de gradients de teneur en CO₂ observés sous terre (le long des cours d'eau, le long des pentes, etc.) sont rapportés et commentés.

A method of determination of the CO₂ content of air is described. The apparatus is used by agronomists and soil scientists in the analysis of soil air, and is easy to use, underground. The determination is based upon the electrolytic titration of the CO₂ of a known volume of air, absorbed in a 0,1 N NaCl solution. The whole apparatus is enclosed in a portable wooden case, weighing about 15 kg.

Some preliminary results are reported. Attention is devoted to various gradients of the amount of CO₂ in the atmosphere of some caves. An idea of the observed range of values is given. The CO₂ content reaches 2 to 8 times the values for free air, in spacious caves, and up to 19 times, in fissures.

*
**

1. Introduction.

La dissolution du carbonate de calcium se fait par des acides en solution dans l'eau et, parmi les produits acides, le gaz carbonique semble bien occuper, dans les régions tempérées du moins, la première place (D. I. Smith et D. G. Mead, 1962). Le gaz carbonique présent dans l'eau vient très généralement de l'atmosphère, et de l'air

du sol. Le *moteur* de la réaction de dissolution est donc dans la phase gazeuse (H. Roques, 1959).

Seule la *mesure* de la teneur en gaz carbonique permet de déterminer avec certitude la grandeur d'un éventuel déséquilibre entre l'eau et l'air surincombant. Or, c'est ce déséquilibre et son ampleur qui règlent le sens de l'évolution de la composition de l'eau et la vitesse de cette évolution. Il est donc primordial d'accéder au dosage direct du gaz carbonique ; malheureusement, la plupart des appareils sont soit non portatifs, soit non utilisables sous terre, soit fragiles et d'un emploi délicat. Seul, à notre connaissance, H. Roques a conçu un appareil pratique et très léger (H. Roques, 1962), dont l'étalonnage exige cependant la mise en œuvre d'un appareillage assez important. En 1952, H. Koepf avait décrit une méthode de détermination du CO_2 dégagé par les sols. Cette technique a été utilisée, notamment, par F. Hilger (1963) et au Centre d'Etude des Sols Forestiers de la Haute Belgique à Gembloux. Elle est applicable également au dosage du CO_2 de l'air et fournit des résultats précis et bien reproductibles (F. DELECOUR, 1965).

Le dosage est basé sur la titration électrolytique de l'anhydride carbonique contenu dans un volume d'air connu, et absorbé dans une solution 0,1 N de NaCl, colorée par la phénolphthaléine. L'électrolyse de cette solution produit NaOH, utilisé à la neutralisation du CO_2 absorbé. L'opération se déroule sous une intensité de courant constante et connue. On détermine le temps d'électrolyse nécessaire pour produire la quantité de NaOH équivalent au CO_2 présent, la fin de la réaction étant appréciée par les changements de coloration de la phénolphthaléine. Connaissant l'intensité du courant (en mA) et le temps (en sec), on peut, d'après la loi d'équivalence électrochimique, calculer la teneur en CO_2 .

2. Description de l'appareillage.

L'appareillage nécessaire à la détermination en cause comprend :

- des cellules de titration ;
- un flacon de réserve de solution de NaCl ;
- une source de courant, avec résistance variable et appareil de mesure ;
- un chronomètre.

Tous ces éléments sont groupés dans un coffret en bois (photo 1), l'ensemble étant relativement léger et facilement transportable, de sorte que les mesures peuvent s'effectuer à proximité immédiate des endroits de prélèvement des échantillons d'air.

21. LA CELLULE DE TITRATION.

La cellule de titration est schématisée dans la fig. 2.

Elle consiste en un bulbe cylindrique (B) d'environ 3,5 cm de diamètre intérieur et 9,5 cm de long, prolongé vers le bas par un tube (C) de 6,5 cm de long et 1,5 cm de diamètre intérieur. Ce tube porte

les deux électrodes en platine (E) et un trait de jauge (F) correspondant à un volume de 10 ml. Les électrodes ont 1 cm de côté et sont distantes de 1 cm environ ; l'une d'elles doit être recouverte d'une couche régulière d'argent. (Voir § 32).

La distance entre le sommet des électrodes et le trait de jauge (F) ne doit pas être inférieure à 3 cm.

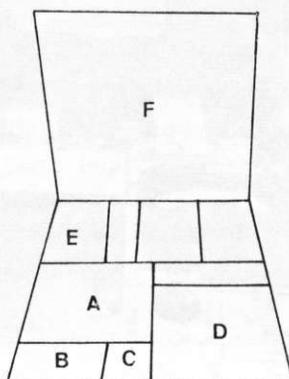


FIG. 1

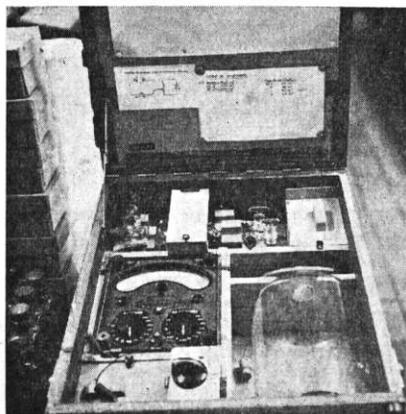


PHOTO 1 et FIG. 1. — L'appareillage dans son coffret.

A : ampèremètre ; B : compartiment des batteries ; C : rhéostat ; D : flacon pour solution de NaCl ; E : compartiment des cellules de titration, dont deux sont visibles sous la languette de fixation ; F couvercle avec écran blanc facilitant la comparaison des couleurs.

Le bulbe (B) est surmonté d'un robinet à voie coudée (A), permettant de le mettre en communication avec l'un des deux ajutages supérieurs. Le tube (C) est prolongé par un robinet à voie droite (D).

L'ensemble est en verre Pyrex et a un volume voisin de 100 ml. Ce volume doit être déterminé avec précision, au moyen d'eau distillée par exemple.

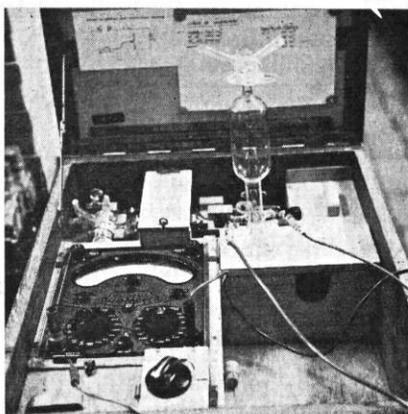


PHOTO 2. — Disposition de l'appareil pendant l'électrolyse.

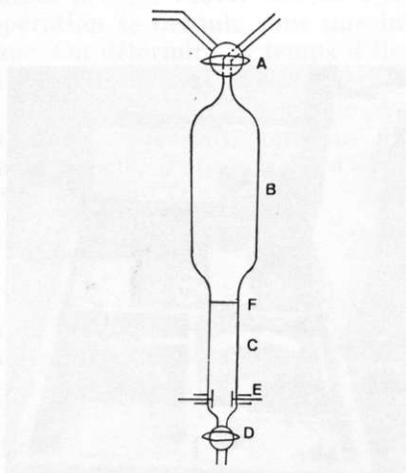


FIG. 2. — La cellule de titration.

A : robinet à deux voies ; B : bulbe ; C : tube inférieur ; D : robinet simple ;
E : électrodes ; F : trait de jauge.

22. LE FLACON DE NaCl DE RÉSERVE.

Il s'agit d'un flacon en verre, ou en polyéthylène, de 3 à 4 l de capacité, muni, à sa partie inférieure, d'un ajutage à robinet. Pendant les opérations, l'orifice supérieur est muni d'un absorbeur à chaux sodée.

23. LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE.

La source de courant consiste en une batterie sèche de 12-14V ou en batteries, de potentiel moindre, montées en série ($3 \times 4,5V$, par exemple).

L'appareil de mesure doit permettre d'apprécier des intensités de l'ordre de 0 à 10 mA ; il comportera, si possible, une échelle de lecture à miroir inférieur.

La régulation de l'intensité du courant est assurée par une résistance réglable de 10 k Ω ; le courant est stabilisé par un transistor et l'influence des variations thermiques neutralisée par une diode.

Le schéma de montage, pour les mesures électrolytiques, est donné par la figure 3.

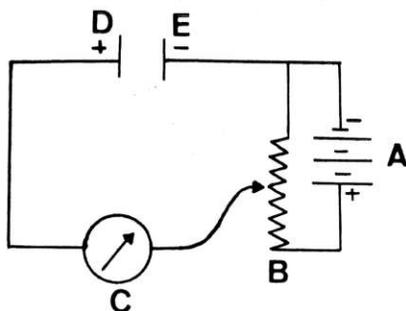


FIG. 3. — Schéma de montage du circuit électrique pour l'électrolyse directe. A : batteries ; B : rhéostat ; C : ampèremètre ; D : anode Pt-Ag ; E : cathode Pt.

3. Dosage de CO₂.

31. PRÉPARATION DES SOLUTIONS.

Les réactifs suivants sont nécessaires :

- Phénolphtaléine à 0,5 % dans NaOH 0,1 N ; dissoudre 0,5 g de phénolphtaléine dans 100 ml de NaOH 0,1 N (4 g NaOH par litre).
- NaCl 0,1 N : 5,845 g NaCl par litre. Amener la solution à pH 9,0-9,1 au moyen de la solution (a) dont il faut $3 \text{ ml} \pm 0,15 \text{ ml}$ par litre de NaCl. La solution saline est ainsi colorée en rose franc.
- KCN-AgCN, 2,5 % : dissoudre 2,5 g KCN dans environ 70 ml d'eau distillée ; dissoudre dans cette solution, 2,5 g AgCN ; porter à 100 ml.
- KCN, 2 % : 2 g KCN par 100 ml.

32. PRÉPARATION DE L'ANODE.

Le dépôt d'argent sur l'électrode de Pt qui servira d'anode se fait par électrolyse de la solution KCN-AgCN, pendant une heure sous une intensité de 10 mA. Le circuit électrique décrit ci-dessus peut être utilisé à cette fin : il suffit d'inverser le montage schématisé à la fig. 3. Concrètement, on aspire dans la cellule de titration, environ 50 ml de solution des cyanures (utiliser une poire d'aspiration, genre « Propipette ») et on ferme le circuit électrique. En guise d'agitation, on laisse s'écouler la solution par le robinet inférieur de la cellule, (fig. 2. D) au rythme d'une goutte par 8 à 10 secondes.

L'opération se termine par un rinçage soigneux de la cellule.

Avant la première argenture, il est nécessaire de dégraisser les électrodes, par électrolyse, sous 0,2-0,4 mA, d'une lessive concentrée de soude, en inversant fréquemment le sens du courant.

Au cours des mesures électrolytiques, l'anode Pt-Ag fixe, sous forme de AgCl, le Cl dissocié de NaCl ; elle noircit progressivement ; après 8 à 10 mesures, on doit la régénérer. Pour ce faire, on décape, tout d'abord, le dépôt d'AgCl au moyen de la solution KCN 2 % ; on procède, ensuite, à une nouvelle argenture, comme décrit ci-dessus.

33. PRÉLÈVEMENT DE L'ÉCHANTILLON D'AIR.

Par son ajutage inférieur, le flacon de réserve de NaCl est raccordé à l'ajutage inférieur de la cellule de titration. Les robinets (D) et (A) sont ouverts. En élevant le flacon, on provoque le remplissage de la cellule par la solution de NaCl, dont on laisse s'écouler au moins 10 ml par l'ajutage supérieur de la cellule. Les robinets (D) et (A) sont alors fermés et la cellule peut être transportée à l'endroit où le prélèvement doit se faire. A cet effet, on ouvre les robinets (A) et (D) et on laisse s'écouler la solution de NaCl jusqu'au moment où elle affleure le trait de jauge (F). On ferme les robinets. On a, ainsi, prélevé un volume d'air correspondant au volume total de la cellule diminué des 10 ml de NaCl restant dans le tube.

34. DOSAGE PROPREMENT DIT.

La cellule est agitée vigoureusement, pendant 4 à 5 min, et on lui imprime, en même temps, un mouvement de balancement pour faire passer la solution du tube dans le bulbe et inversement. Le CO₂ de l'air est dissous et acidifie la solution : celle-ci se décolore. La cellule est introduite, alors, dans le circuit électrique (Photo 2 et fig. 3) et on électrolyse, sous une intensité de 2,2 mA, intensité réglée et maintenue constante, grâce au rhéostat. Le choix de cette valeur présente l'avantage de faciliter le calcul des résultats (voir § 35). La durée de l'électrolyse est notée, à la seconde près (à titre d'exemple, sous 2,2 mA, le temps d'électrolyse est voisin de 50 ou 55 sec pour le CO₂ de l'air extérieur). Cette électrolyse donne naissance, à la cathode, à NaOH qui recolore la solution en rouge. On décon-

necte la cellule et on l'agite pendant 4 à 5 min, comme déjà décrit. Après l'agitation, on compare la coloration de la solution à celle d'un tube témoin. Si la solution de la cellule est moins colorée que celle du témoin, on la soumet à nouvelle électrolyse, jusqu'au moment où l'on atteint la coloration du témoin. Après chaque électrolyse, on agite la cellule pendant 30 à 45 sec, avant de faire la comparaison des teintes.

Si la coloration de la solution de la cellule est plus forte que celle du témoin, on effectue une électrolyse acidifiante, en inversant les pôles et en procédant comme décrit ci-dessus, jusqu'à égalité des colorations du tube de la cellule et du tube témoin.

35. CALCUL DES RÉSULTATS.

La teneur en CO₂ de l'atmosphère étudiée, exprimée en mg/l, se calcule par la formule :

$$\text{mg CO}_2/\text{l} = \frac{0,456.i. (t_1 - t_2)}{V} \quad (1)$$

dans laquelle :

i = intensité du courant d'électrolyse, en mA ;

t_1 = durée totale de l'électrolyse directe (alcalinisante), en sec ;

t_2 = durée totale de l'électrolyse inverse (acidifiante), en sec ;

V = volume de l'échantillon d'air, en ml (volume total de la cellule diminué de 10 ml).

Si $i = 2,2$ mA, $0,456.i$ est très voisin de 1 et, dans ces conditions, la formule (1) devient :

$$\text{mg CO}_2/\text{l} = \frac{t_1 - t_2}{V}$$

D'après Koepf (1952), la gamme de précision maximum de la méthode se situe entre 0 et 5 mg CO₂/l. Au-delà de cette limite, on commet une erreur par défaut de plus en plus importante, ainsi qu'il ressort du tableau suivant, adapté de Koepf :

CO ₂ , mg/l méthode de référence (absorption dans l'I.R.)	Ecart donné par la méthode électrol. %
2,345	+ 2,9
2,811	- 1,9
3,997	- 0,9
4,173	- 2,2
6,062	- 3,3
7,379	- 5,0

4. Premiers résultats.

Quelque 75 mesures préliminaires ont été réalisées dans les grottes de Belgique entre les mois de mai et de juillet 1966 ; les grottes

étudiées sont situées sous prairie et sous bois, à des altitudes allant de 100 à 230 mètres ; nous rapportons ici quelques-uns des résultats obtenus (*).

41. LA GROTTÉ DE FLOREFFE.

Creusée dans le Calcaire Carbonifère, la Grotte de Floreffe a quelque 300 mètres de développement, en ne comptant que ses salles et galeries principales et environ 27 mètres de dénivellation entre son point le plus haut et le niveau du cours d'eau souterrain (voir Planche I (**)).

Résultats des mesures.

Dans l'ensemble de la grotte, au milieu des salles et dans l'axe des couloirs, la teneur en gaz carbonique est comprise entre 1 et 2 mg/l d'air (teneur normale de l'air atmosphérique : environ 0,56 mg/l air, à 10°C). La tendance à l'augmentation est légère mais très nette et assez constante vers les extrémités distales et vers le fond (de 1,08 à 1,96 mg/l).

Dans la région de l'entrée même, les teneurs sont inférieures (0,83 et 0,89 mg/l).

Dans les coins et les fissures, de même qu'au ras de certains plafonds, les teneurs sont au contraire beaucoup plus élevées (3,48 — 4,23 — 4,61 — 6,58 mg/l).

Il en est de même juste au-dessus du cours d'eau souterrain (2,82 et 2,85 mg/l).

Commentaires.

La majeure partie du volume d'air de la grotte (au moins 90 % si l'on exclut la région d'entrée) contient entre 1 et 2 mg CO₂/l d'air.

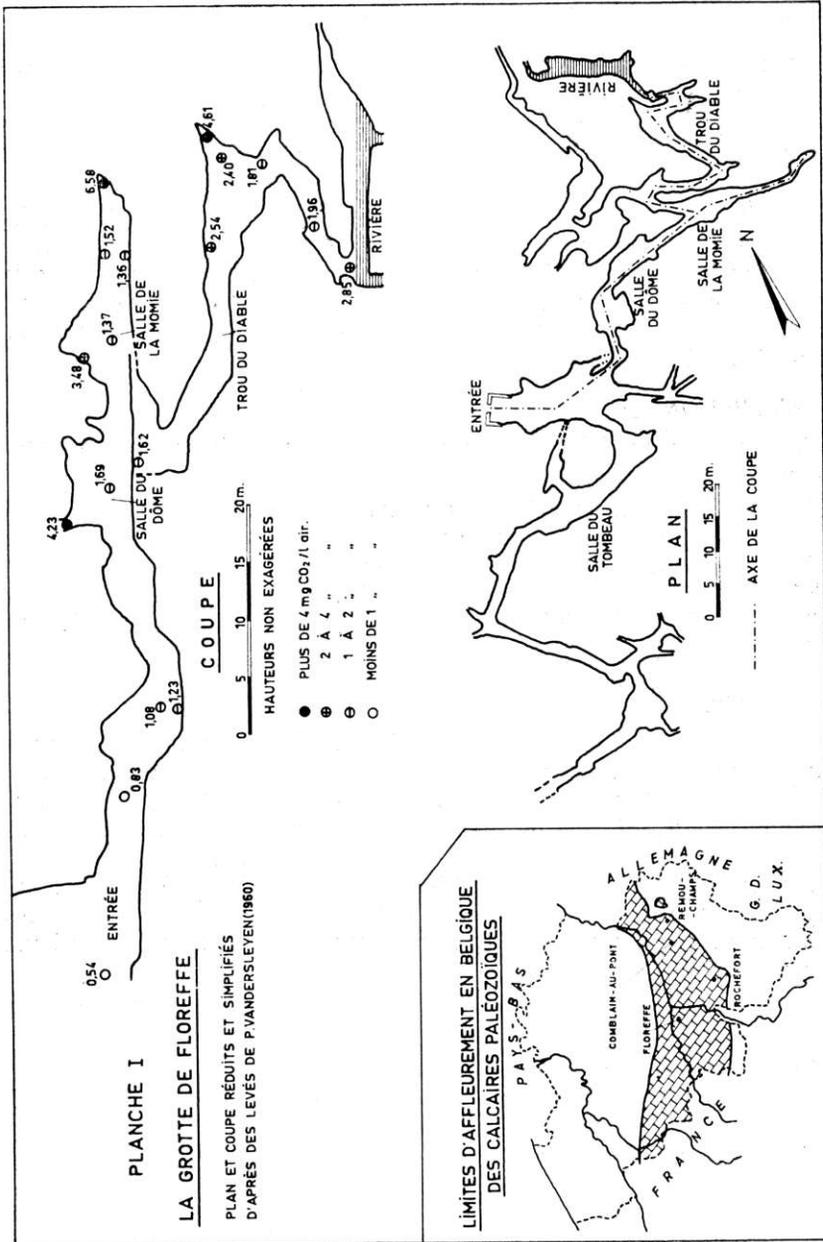
Les teneurs inférieures observées dans la région d'entrée sont évidemment imputables à la communication facile avec l'air libre, par l'entrée de la grotte.

Les teneurs les plus fortes observées sont situées dans les encoignures de fissures proches du plafond : le CO₂, qui est nettement plus dense que l'air, ne peut s'y maintenir en équilibre statique ; nous pensons que l'explication la plus simple de ce phénomène est d'admettre qu'on a affaire là à des sources de diffusion en provenance de la pédosphère. L'influence de la densité se marque dans l'augmentation — beaucoup plus faible, mais très nette — de la teneur en CO₂ dans la masse des salles, au fur et à mesure que l'on descend.

(*) Nous n'avons pas repris ici, afin de ne pas alourdir cette note préliminaire, la température, l'heure, et diverses autres données consignées lors des titrages, telles que les indications sur les conditions météorologiques des jours précédents, etc..

(**) Sur cette planche, le plan a été reproduit — à échelle réduite — uniquement pour montrer l'axe suivant lequel a été dessinée la coupe en long ; quelques mesures, situées en dehors de cette coupe, n'ont pas été représentées.

Les chiffres obtenus au ras du cours d'eau souterrain (2,82 et 2,85 mg/l) peuvent s'expliquer, soit par une accumulation par densité, soit par un dégagement de CO₂ par l'eau.



Le fait qu'en plusieurs endroits, la teneur est beaucoup plus forte près du plafond qu'au niveau du passage praticable montre que, dans l'ensemble, les ordres de grandeur des teneurs observées ne sont pas dus à l'influence de la respiration des visiteurs humains, d'ailleurs très rares (*).

42. MESURES ÉCHELONNÉES EN HAUTEUR : GROTTES DE COMBLAIN-AU-PONT ET DE ROCHEFORT.

Des analyses échelonnées à des niveaux de plus en plus bas ont été faites en deux endroits. Le premier est l'abîme de Comblain-au-Pont qui, par un puits vertical de 22 m puis par une galerie en forte pente, longue de quelque 30 m, conduit aux salles de la Grotte. Le second endroit est le vaste cône d'éboulis d'environ 40 m de long qui, dans la Grotte de Rochefort, flanque une paroi de la salle dite *Val d'Enfer* et se termine, à son sommet, dans un chaos de blocs en communication par de larges fissures avec une doline du plateau (dite *Trou Lorette*).

Résultats des mesures.

Les teneurs en CO₂ observées à Comblain-au-Pont sont les suivantes :

- 0,52 mg/l à l'air libre à l'orifice de l'abîme ;
- 1,09 mg/l, 22 m plus bas, au pied de la verticale ;
- 1,44 mg/l, 16 m plus loin, à mi-hauteur de l'éboulis ;
- 1,77 mg/l, 17 m plus loin encore, au pied de l'éboulis ;
- 1,86 mg/l, 5 m plus loin enfin, dans une salle voisine du pied de l'éboulis.

Commentaires

Cette augmentation de teneur en CO₂ à mesure que l'on s'enfonce dans la grotte, peut très bien n'être qu'une accumulation par densité, sauf toutefois entre les deux derniers points : le dernier prélèvement a été fait à une hauteur supérieure de 3,50 m à celle du pied de l'éboulis, lieu de l'avant-dernier prélèvement.

La différence entre les deux teneurs est faible (0,09 mg/l) mais dépasse nettement la grandeur de l'erreur de mesure. Entre les deux derniers points existe donc un gradient inverse d'un gradient par densité.

Dans la grotte de Rochefort, le phénomène est évident (fig. 4) ; on mesure :

- 3,50 mg/l au sommet d'un éboulis ;
- 1,70 mg/l aux 4/5 de la hauteur de l'éboulis ;
- 1,18 mg/l à mi-hauteur de l'éboulis ;
- 0,80 mg/l tout en bas de l'éboulis, dans le fond de la salle.

(*) Du moins jusqu'au jour des mesures, car la grotte est maintenant ouverte aux touristes.

Commentaires

La seule explication qui nous semble rendre compte du gradient observé à Rochefort est que du CO₂ fourni par les interstices du chaos de blocs qui est au sommet de l'éboulis diffuse dans le *Val d'Enfer*. Les fissures du sommet de l'éboulis communiquent avec la vaste doline boisée qu'est le *Trou Lorette*, qui est probablement la source de CO₂.

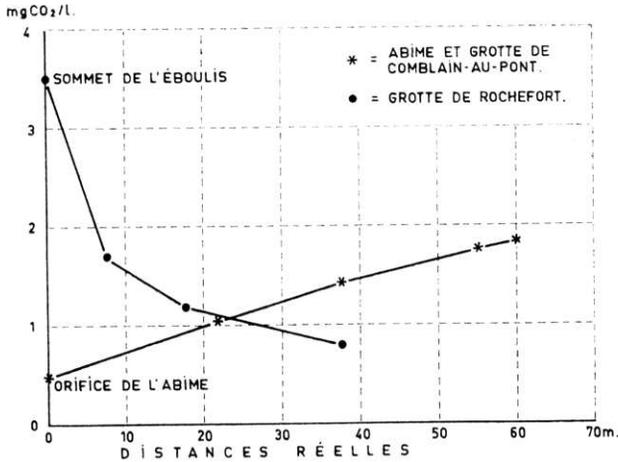


FIG. 4

FIG. 4. — Variation de la teneur en CO₂ en fonction de la distance à un point déterminé, Abîme et Grotte de Comblain-au-Pont et Grotte de Rochefort.

La même explication vaut probablement pour les deux derniers points de la série de Comblain-au-Pont ; ceci pose alors le problème de savoir si le gradient (conforme à une répartition en fonction des densités) observé dans l'abîme, et sur l'éboulis qui en couvre le fond, ne serait pas dû lui aussi à la diffusion à partir de la petite salle ; les deux facteurs jouant dans le même sens, il serait difficile de distinguer la part de chacun d'eux.

43. LA RIVIÈRE SOUTERRAINE A REMOUCHAMPS.

Le cours d'eau qui parcourt la Grotte de Remouchamps y apparaît au sortir d'un siphon et sort de la grotte 640 mètres plus loin, pour reparaitre à l'air libre juste avant de se jeter dans l'Amblève. Des prélèvements d'air ont été faits à une vingtaine de cm au-dessus de la surface de l'eau, en cinq points du parcours, entre la sortie du siphon constituant l'extrémité amont, et la réapparition au jour de la rivière.

Résultats des mesures.

Les résultats sont consignés sur la fig. 5.

On voit que la teneur décroît très régulièrement, mais de moins en moins vite, à mesure que l'eau s'éloigne du siphon amont, et passe de 8,44 à 1,03 mg/l.

Commentaires

Sans doute l'eau jaillit-elle du siphon avec une teneur en CO_2 bien supérieure à celle qui serait en équilibre avec la teneur en CO_2 de l'air de la grotte. D'où un dégagement très rapide de CO_2 , dégagement qui ralentit ensuite progressivement en fonction de la loi de Nernst sur les vitesses de réaction.

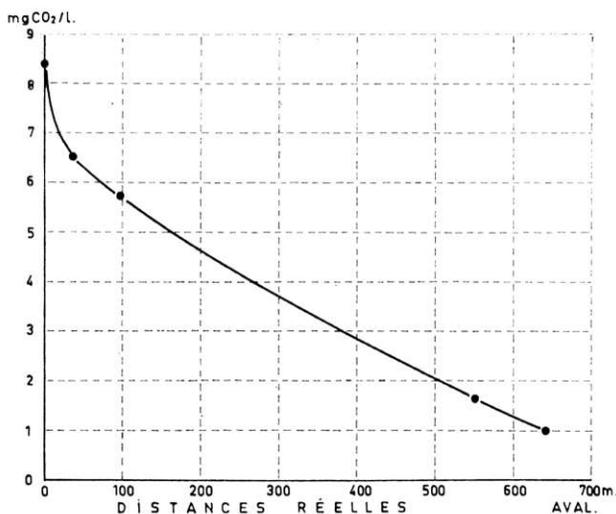


FIG. 5

FIG. 5. — Evolution de la teneur en CO_2 de l'air au-dessus de la rivière souterraine (à 20 cm au-dessus de la surface de l'eau) entre les extrémités amont et aval de la Grotte de Remouchamps.

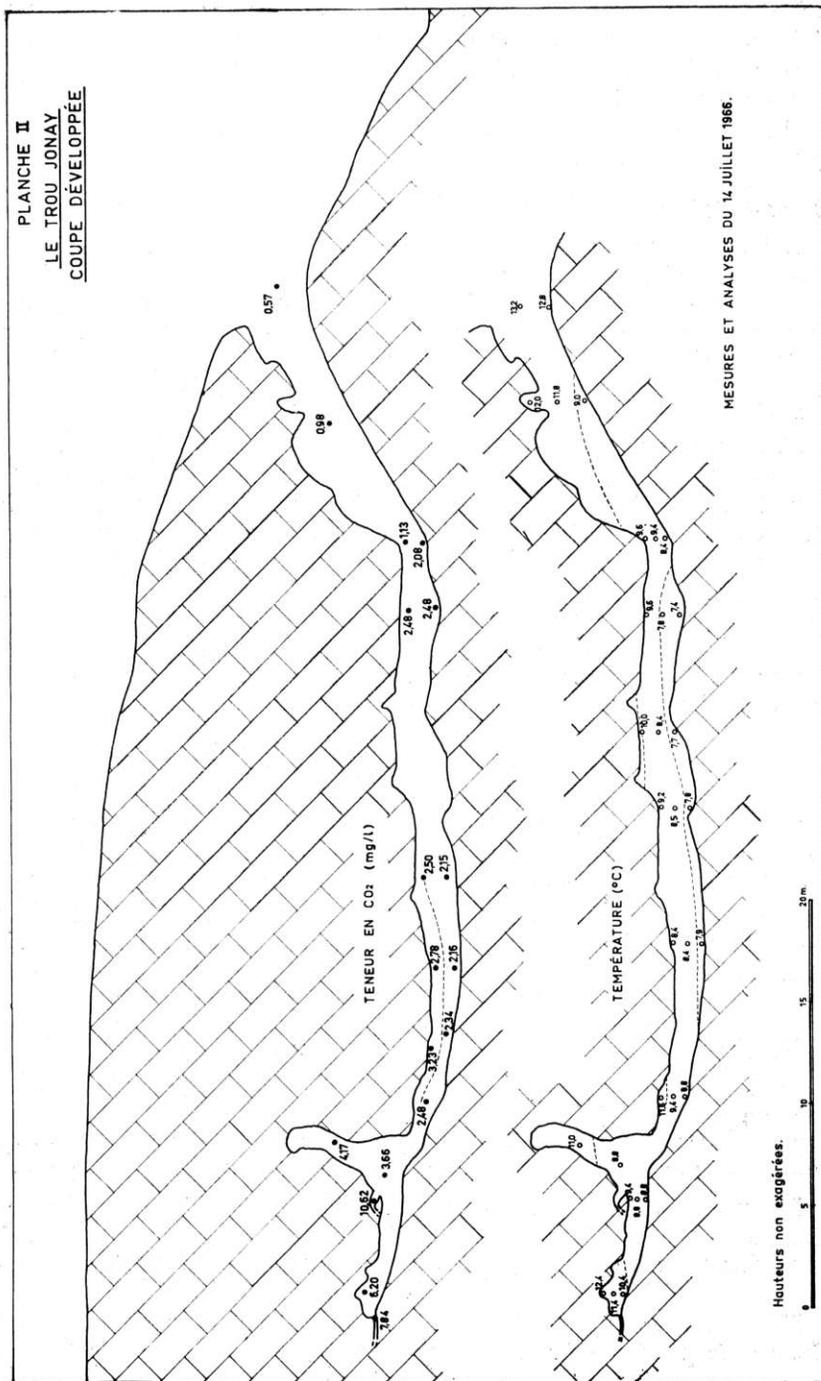
44. LE TROU JONAY, A COMBLAIN-AU-PONT.

Situé juste au-dessus de la Grotte de Comblain-au-Pont, le Trou Jonay, long d'un peu plus de 50 m, s'étend à une faible profondeur sous la surface du sol (voir Planche II).

Résultats des mesures.

— La teneur en CO_2 de l'air des couloirs croît nettement de l'entrée vers le fond de la grotte, passant de 0,98 $\text{mg CO}_2/\text{l}$, au milieu du couloir d'accès en pente, à 3,66 au milieu de la plus haute salle. Le gradient est le plus rapide vers l'extrémité distale (proximité des fissures fournissant le gaz carbonique ?) et vers l'orifice de la grotte (gradient renforcé par la raideur de la pente d'accès qui favorise une accumulation par densité). Les teneurs les plus élevées

PLANCHE I
LE TROU JONAY
COUPE DÉVELOPPÉE



ont été rencontrées dans un terrier à l'extrémité distale de la grotte (7,84 mg/l) et dans une fissure du même secteur (10,62 mg/l).

Dans toute la moitié distale du couloir, la teneur en CO₂ est plus élevée au plafond qu'au sol.

Un relevé systématique des températures a accompagné les analyses d'air (voir planche II).

Commentaires

Les gradients rapides des deux extrémités de la cavité semblent s'expliquer aisément : l'un par l'influence de la densité, accrue du reste par les différences de températures qui, au moment des prélèvements, alourdissent l'ensemble de l'air de la grotte par rapport à l'air extérieur ; l'autre par les relations intimes avec le sol que présente le bout de la grotte : cette partie de la cavité est très ramifiée (ce qui n'a pu être mis en évidence sur la coupe), les parois y sont en maints endroits constituées de dépôts meubles, et la surface du sol est à une dizaine de mètres à peine, et peut-être moins.

Mais la stratification inverse de celle qui serait imposée par la densité, dans la partie distale de la galerie, peut être diversement expliquée (voir sur la coupe supérieure de la Planche II le trait interrompu représentant la teneur de 2,5 mg CO₂/l). Expansion au plafond d'une atmosphère très riche en CO₂ mais chaude, ayant « percolé » à travers le sable et les fissures ? Ecoulement d'une masse d'air en provenance des salles distales et qui, ne pouvant se mélanger à une masse froide et stable, glisserait au-dessus ?...

5. Perspectives.

Les quelque 75 premières mesures réalisées en grotte avec l'appareillage décrit, dans 5 cavités de types divers, donnent déjà une idée de l'ordre de grandeur des teneurs en CO₂ de l'air des cavités karstiques. Par exemple, dans la masse d'air principale des salles — fissures et culs-de-sacs étroits mis à part — la teneur semble bien varier entre 1 et 2 mg/l suivant l'éloignement et la profondeur, et entre 1 et 4 dans les petites cavités comme le Trou Jonay.

Les gradients les plus importants observés se situent dans les coins des salles et on ne peut guère y voir d'autre raison que l'apport de gaz par des fissures et la lenteur de sa diffusion dans les recoins peu ventilés.

La densité reste cependant probablement la cause de certains gradients, mais les maxima observés sont alors moins spectaculaires.

Les mesures de teneur en CO₂ de l'air semblent bien devoir rendre de grands services dans l'explication des changements d'équilibre des eaux karstiques, qui sont fréquemment dus à des modifications de la teneur de l'eau en CO₂ (Roques H., 1959).

Mais ces premiers résultats ne peuvent être considérés *que comme des essais préliminaires*. Il est très probable que la multiplication

des mesures modifiera les valeurs données ici provisoirement comme représentatives, et que les observations rapportées plus haut s'intégreront dans un système qui ne peut encore être connu.

Il nous semble maintenant primordial de rechercher d'éventuelles variations, et, en particulier, des variations saisonnières liées à l'activité de la végétation. Ce sera maintenant une de nos préoccupations. La commodité d'emploi de cette méthode sous terre et l'intérêt des développements qui s'annoncent nous faisaient un devoir de partager avec les autres chercheurs, dans cette note préliminaire, nos premiers et modestes résultats.

Remerciements

Nous remercions vivement M. le Professeur P. Macar et M. le Professeur G. Manil qui ont encouragé notre collaboration, qui nous ont appuyés dans notre travail et qui ont bien voulu relire et critiquer le manuscrit. Une fructueuse discussion avec M. M. Collard est également à la source de diverses améliorations du texte.

(Laboratoire de Géologie et de Géographie Physique,
Université de Liège.
Centre d'Etude des Sols Forestiers (I.R.S.I.A.)
Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux).

OUVRAGES CITÉS.

- DELECOUR, F., 1965 — Détermination des activités biologiques par la méthode de KOEPF. Standardisation et essai de la technique de dosage de CO₂. *Note de Recherches n° 2. Centre d'Ecopédologie forestière, Gembloux.*
- HILGER, F., 1963 — Activité respiratoire de sols équatoriaux. Application de la méthode respirométrique *in situ*. *Bull. Inst. Agron. Stat. Rech. Gembloux*, 31, 154-182.
- KOEPF, H., 1952 — Laufende Messung der Bodenatmung im Freiland. *Landw. Forsch.*, 4, 186-194.
- ROQUES, H., 1959 — Sur la répartition du CO₂ dans les Karsts. *Annales de Spéléologie*, 14, 9-22.
- ROQUES, H., 1962 — Appareillages pour le dosage de CO₂ dans les mélanges gazeux. *Annales de Spéléologie*, 17, 455-462.
- SMITH, D. I. et MEAD, D. G., 1962 — The solution of Limestone. *Proc. Univ. Bristol Speleological Society*, 9, 188-211, Cf 189-190.

