

# Anomalies des teneurs en oxygène atmosphérique mesurées dans le réseau Fanges-Paradet (Aude/Pyrénées-Orientales)

Bernard OURNIÉ \* et Jean-Michel OSTERMANN \*\*

\* ARKHAM, Groupe Spéléologique de Montpeyroux, 55 rue P. & M. Curie 34700 Lodève, b.ournie@free.fr

\*\* Commission Médicale F.F.S., 24800 Cognac-sur-l'Isle, jmostermann001@rss.fr

**RÉSUMÉ :** Plusieurs séries de mesures ont été effectuées dans différents réseaux souterrains de la région Languedoc-Roussillon (Corbières, haute vallée de l'Aude, Larzac) en 1997, 1998 et 2001.

Les dosages portent essentiellement sur la teneur de l'atmosphère souterraine en  $O_2$  et en  $CO_2$ . Or, plusieurs mesures font apparaître un déficit en  $O_2$ , surtout dans les parties profondes des réseaux étudiés. Les auteurs avancent plusieurs explications pour rendre compte de cette anomalie.

**MOTS-CLÉS :** Climatologie souterraine, atmosphère karstique, pression partielle en oxygène, Corbières, Fanges-Paradet.

**ABSTRACT :** MEASURES OF ATMOSPHERIC  $O_2$  AND  $CO_2$  IN THE CAVE SYSTEM OF FANGES-PARADET (FRENCH EAST PYRENEES) : In the cave system of Fanges-Paradet and in several caves of Region Languedoc-Roussillon (in Corbières mountains, High Aude Valley and Causse du Larzac), successive

measurements of atmospheric  $O_2$  and  $CO_2$  contents have been taken in 1997, 1998 and 2001. The aim of the paper consists in getting more accurate composition of endokarstic atmosphere. Abnormally low contents in  $O_2$  appear, specially in the deep parts of "puits de l'Ours", "grotte de la Coume dels Adoutx" and "grotte TM 71". Several explanations may justify these "anomalies".

**KEY WORDS :** Underground climatology, endokarstic atmosphere, atmospheric oxygen, Corbières, Fanges-Paradet.

## INTRODUCTION

Dans le domaine karstique, l'étude de l'atmosphère des cavernes a soulevé l'intérêt des karstologues et des spéléologues naturalistes, à partir d'observations et d'analyses basées sur la chimie des carbonates et des teneurs en  $CO_2$  atmosphérique. Si les mesures de dioxyde de carbone ont été très nombreuses, peu d'observations existent sur l'oxygène, et en particulier le couple  $O_2$ - $CO_2$ .

Il est cependant le plus souvent admis que la somme de ces deux gaz est proche de 20,9 % dans la composition de l'air ; et que sous terre, tout comme à l'extérieur, chaque mole d' $O_2$  est remplacée par une mole de  $CO_2$  lors du processus de respiration des sols et d'oxydation à l'origine de la composition atmosphérique karstique.

Lors de l'exploration du réseau Fanges-Paradet (Pyrénées-Orientales - France) et de cavités annexes, nous avons constaté une anomalie des teneurs atmosphériques en  $O_2$ , à savoir un déficit par rapport aux valeurs observées pour le  $CO_2$ .

Cette note présente donc les résultats observés dans le réseau Fanges-Paradet en les comparant à d'autres réseaux "témoins", et discute les différentes hypothèses concernant cette anomalie.

## I. CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX ÉTUDIÉS

Afin de mieux cerner l'anomalie initialement constatée au puits de l'Ours (figures 1 et 4), nous nous sommes attachés à faire des mesures dans plusieurs systèmes

karstiques. Trois éléments généraux ont guidé notre choix :

**La similitude des climats et de la couverture végétale :** le réseau Fanges-Paradet et les cavités proches (puits de l'Ours, Coume dels Adoutx, Buffo fret) subissent à la fois les influences d'un climat de moyenne montagne et les caractéristiques d'un climat méditerranéen. La grotte du Banquier, bien que située au sud du Causse du Larzac, à près de 200 km de distance, se développe dans des conditions bioclimatiques analogues. Sur l'ensemble des bassins d'alimentation domine donc un couvert végétal où alternent garrigues, pelouses et forêts (feuillus et conifères).

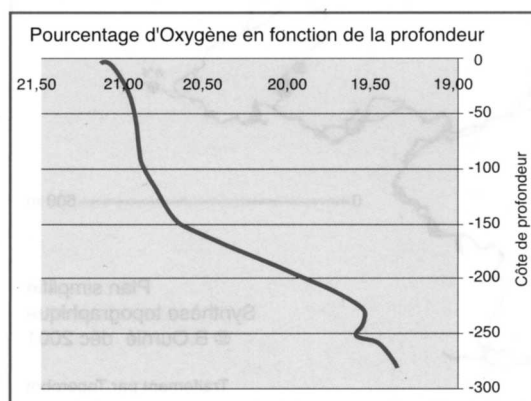


Figure 1 : Le puits de l'Ours (Pyrénées-Orientales). Données récoltées le 3/08/1997. Measures of  $O_2$  in the puits de l'Ours (3.8.97) per cent of  $O_2$  according to the depth.

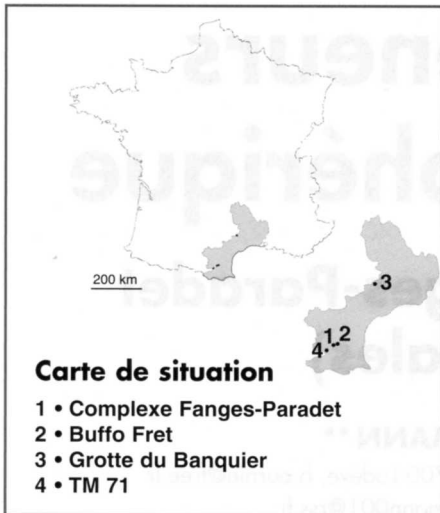


Figure 2 : Localisation des sites d'études dans la région Languedoc-Roussillon.

Location of the measurement stations in four cave systems of the Languedoc-Roussillon Region.

Banquier : ils drainent tous deux un vaste bassin d'alimentation, et les entrées basses des réseaux fonctionnent en trop-plein, par lesquels s'écoulent les crues paroxysmiques internes. Les exsurgences "normales" de ces réseaux de trop-plein sont des sources pérennes, situées en contrebas de ces entrées hautes.

Quatre réseaux spéléologiques ont été étudiés ; ils représentent 9 cavités (figure 2).

**La position endokarstique des réseaux spéléologiques :** ces réseaux sont situés, en zone profonde. Les distances au versant peuvent, suivant l'importance du massif karstique, dépasser plusieurs centaines de mètres.

**Leur fonctionnement hydrogéologique :** la similitude est grande entre le réseau Fanges-Paradet et la grotte du

### A. Le complexe Fanges-Paradet, centre de l'étude

Ces mesures valent pour le réseau Fanges-Paradet et deux cavités annexes.

#### 1. Le réseau Fanges-Paradet (Pyrénées-Orientales)

Il s'agit du réseau spéléologique constitué par deux cavités reliées entre

elles, le Cthulhu Démoniaque et le puits de l'Engoulevent (développement 17000 m pour un dénivelé de 300 m [+180, -120], figure 3).

Ce réseau a la particularité d'être le seul réseau régional (Pyrénées-Orientales, Aude) qui permet une pénétration dans un massif du Mésozoïque jusqu'aux collecteurs profonds sub-horizontaux. C'est aussi l'exemple peu commun d'un réseau traversant plusieurs unités stratigraphiques, du Gargasien inférieur au Jurassien Supérieur.

Les études spéléologiques [S. et B. Ournié, 1985] mettent en relation synchrone une partie du creusement endokarstique avec celui fluvial du Miocène.

#### 2. La grotte-aven de la Coume dels Adoutx (Pyrénées-Orientales)

Il s'agit d'une émergence temporaire (développement topographié 231 m pour un dénivelé de 52 m [+2, -50]). Située dans la zone de battement de la "nappe", elle fonctionne en liaison avec de nombreux autres griffons exutoires du réseau Fanges-Paradet. La cavité n'est pas ventilée (figure 7).

#### 3. Le puits de l'Ours (Pyrénées-Orientales)

Son entrée est située sur une haute surface topographique, et la cavité pénètre jusqu'aux galeries du réseau situées dans la zone de battement (développement topographié 714 m pour un dénivelé de 289 m [0, -289]). Une jonction au son a été réalisée entre le puits de l'Ours et les galeries profondes du réseau Fanges-Paradet (figure 4).

### B. Un réseau situé dans un contexte morpho-structural différent, mais dans le même environnement bioclimatique et géographique

#### 1. Le Buffo Fret (Aude)

Cette cavité (développement topographié 3000 m pour un dénivelé de 289 m [0, +150]) est située à moins de deux kilomètres à vol d'oiseau des Fanges-Paradet, dans le massif du Pech de Bugarach. Il s'agit d'une nappe de charriage de terrains secondaires, posée sur la surface fini-pliocène du massif des Fanges-Paradet. Le Buffo Fret est parcouru par un actif pérenne, mais sans accès à la zone noyée.

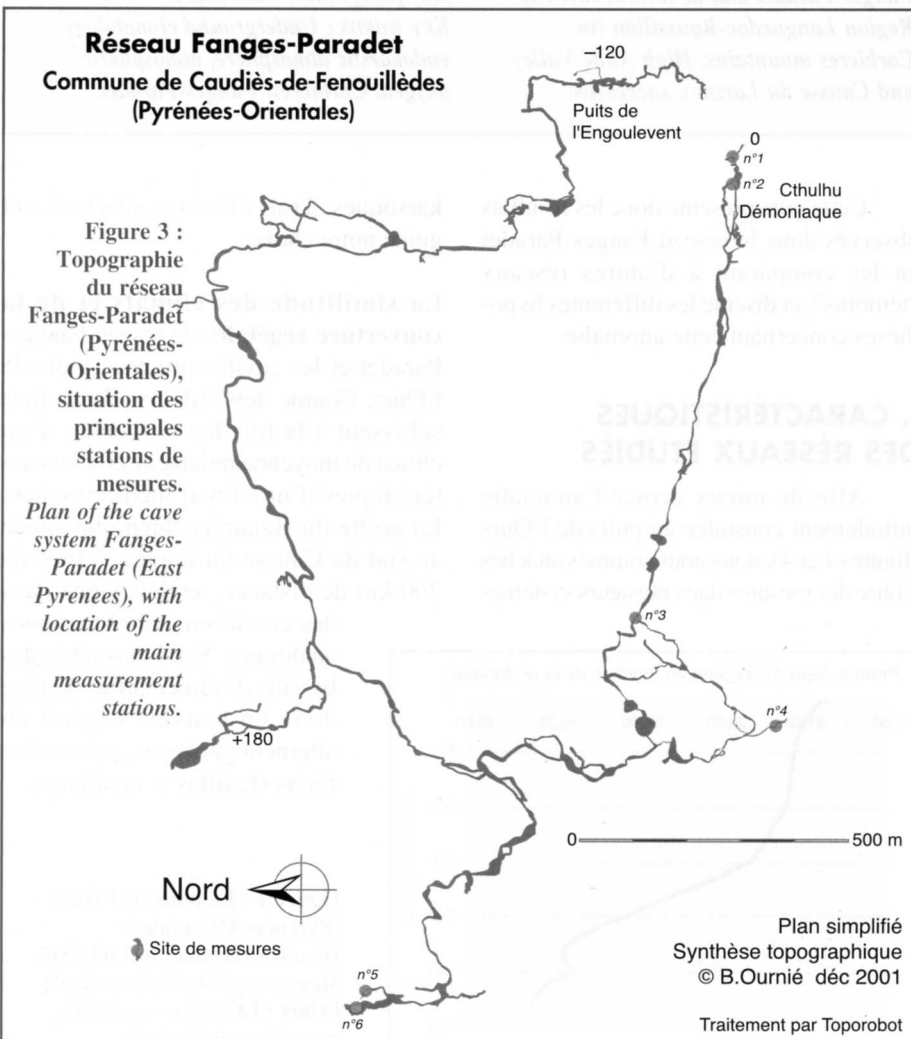


Figure 5 : Topographie de la grotte du Banquier (Hérault), situation des principales stations de mesures.  
Plan of the cave du Banquier (Herault), with location of the main measurement stations.

**Grotte du Banquier**  
Commune de  
Saint-Étienne-de-Gourgas  
(Hérault)

0 ————— 500 m

● Site de mesures



Plan simplifié

Synthèse topographique B.Ournié 2001

© Collectif du "Banquier 2000"/

ASMO-GAS-GSL-GSM-MASC

Traitement par Toporobot

Figure 4 : Topographie du puits de l'Ours (complexe Fanges-Paradet, Pyrénées-Orientales), situation des principales stations de mesures.  
Cross section of the puits de l'Ours (bear pot-hole, East Pyrenees), with location of the main measurement stations

Cross section of the puits de l'Ours (bear pot-hole, East Pyrenees), with location of the main measurement stations

-289

## II. OBSERVATIONS RÉALISÉES

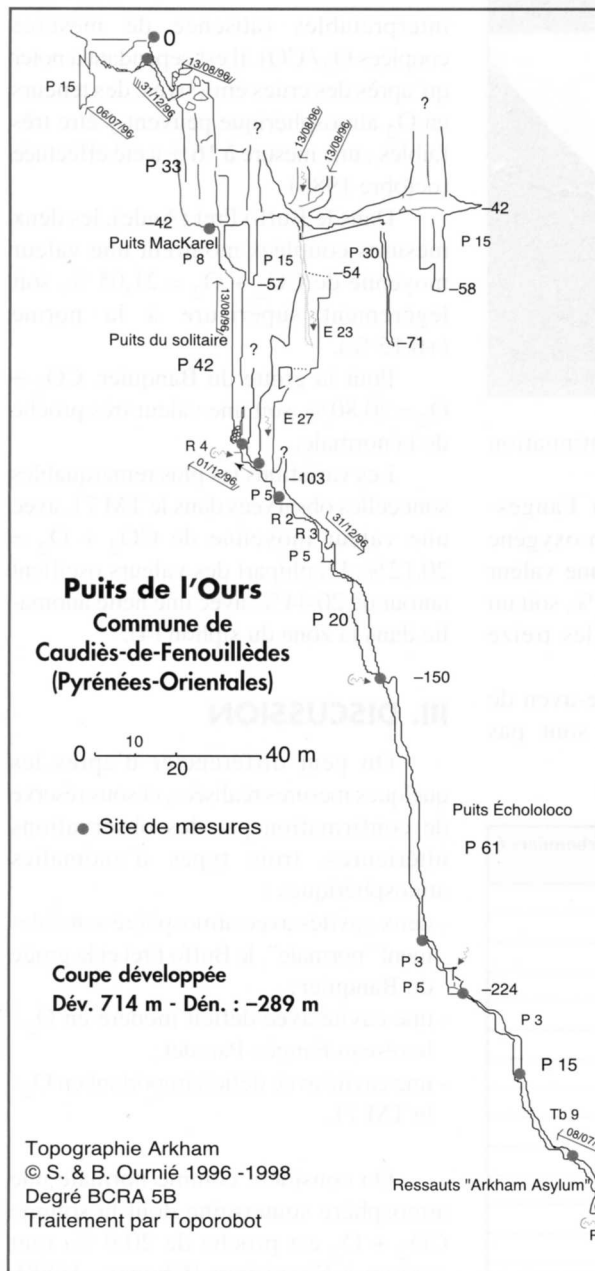
Plusieurs sites de mesures ont été établis dans chaque cavité. Pour chacune de ces stations, ont généralement été mesurés dans l'atmosphère : CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, température et pression barométrique. Toutes les mesures ont été effectuées par la même personne, en utilisant le même protocole. Dans le cas de cavité ventilée l'appareil est tenu au centre du conduit, à environ 1 m du sol, la mesure s'effectue face au courant d'air. Les indications de CO<sub>2</sub> ont été corrigées en fonction de la pression barométrique.

Pour cela, plusieurs appareils ont été utilisés.

- pour le CO<sub>2</sub>, une pompe Dräger avec les tubes réactifs 0,1 %/a;
- pour l'O<sub>2</sub>, un dioxygénomètre électronique, de type Micropac Dräger;
- un thermomètre électronique au 1/10 de degré;
- un baromètre altimètre Thommen.

Les valeurs obtenues pour chaque gaz sont indiquées en volume %, et la température en degrés Celsius.

La totalité des données récoltées n'est pas publiée dans cet article. Elle le sera à la fin de la campagne d'étude, réalisée à minima sur une durée d'un an pour prendre



### C. Deux réseaux "témoins" :

#### 1. La grotte du Banquier (Hérault)

Ce réseau (développement 9300 m pour un dénivelé de 195 m [+78, -117]) draine une partie du Sud du causse du Larzac et fait partie de l'ensemble des réseaux du cirque de Gourgas (figure 5). Située dans une zone d'exutoires majeurs du plus grand intérêt, cette cavité est la plus grosse exurgence temporaire du Cirque du Bout du Monde. Elle présente toute une série de similitudes avec le réseau Fanges-Paradet : développement important, ventilation du réseau, zone de battement de "nappe" conséquente...

Les importants prolongements découverts par le Collectif Banquier 2000 nous ont permis de réaliser des mesures dans des zones profondes.

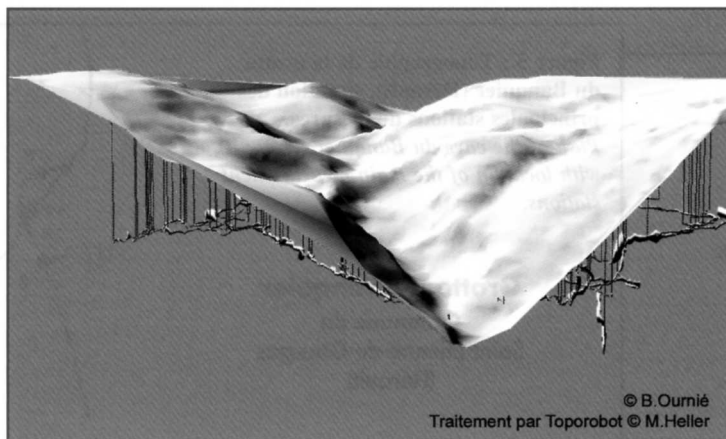
#### 2. Le TM 71 (Aude)

Le TM 71 (développement 11000 m pour un dénivelé de 130 m [0, -130]) se situe à une vingtaine de kilomètres au sud-ouest de Fanges-Paradet. On y observe la confluence d'un réseau creusé par des pertes de l'Aude et d'un réseau actif issu du massif du Teillet. Ce fonctionnement hydrologique binaire, différent de Fanges-Paradet, est accentué par le fait que les pertes de l'Aude sont temporaires, alors que l'alimentation issue du Teillet est actuellement pérenne.

Le TM 71 est soumis à un climat plus montagnard (hiver plus froid, précipitations plus abondantes). La cavité est également ventilée.

La grotte est classée en réserve naturelle.

Figure 6 :  
Topographie  
tridimensionnelle  
de la grotte-aven  
de la Coume  
dels Adoutx  
(Complexe  
Fanges-Paradet,  
Pyrénées-  
Orientales).  
3-D topography  
(system Fanges-  
Paradet East  
Pyrenees).



en compte l'ensemble des variations saisonnières.

Seules sont reprises les données recueillies sur les stations de mesures. De nombreux autres relevés, en particulier d'O<sub>2</sub>, ont été effectués entre ces stations, le but étant de déceler d'éventuelles fluctuations suivant la topographie des lieux. Ainsi nous avons pu repérer des mouvements aérologiques susceptibles de

servir d'indicateurs de continuation spéléologique.

Les résultats du réseau Fanges-Paradet montrent un déficit en oxygène fréquent, mais modéré, avec une valeur moyenne de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 20,66 %, soit un déficit en O<sub>2</sub> de 0,24 % sur les treize mesures.

Les résultats de la grotte-aven de la Coume dels Adoutx ne sont pas

interprétables (absence de mesures couplées O<sub>2</sub> / CO). Il est cependant à noter qu'après des crues émissives, des teneurs en O<sub>2</sub> atmosphérique peuvent y être très faibles : une mesure à 16 % a été effectuée (octobre 1986).

Dans le Buffo Fret (Aude), les deux mesures couplées montrent une valeur moyenne de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 21,05 %, soit légèrement supérieure à la norme (+0,15 %).

Pour la grotte du Banquier, CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 20,80 %, soit une valeur très proche de la normale.

Les variations les plus remarquables sont celles observées dans le TM 71, avec une valeur moyenne de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 20,12 %. La plupart des valeurs oscillent autour de 20,44 %, avec une nette anomalie dans la zone du siphon (4).

### III. DISCUSSION

On peut différencier d'après les quelques mesures réalisées, et sous réserve de confirmation par des observations ultérieures, trois types d'anomalies atmosphériques :

- deux cavités avec atmosphère sensiblement "normale", le Buffo Fret et la grotte du Banquier ;
- une cavité avec déficit modéré en O<sub>2</sub> : le réseau Fanges-Paradet ;
- une cavité avec déficit important en O<sub>2</sub> : le TM 71.

On considère comme normale une atmosphère souterraine dont la somme CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> est proche de 20,9 %, tout comme à l'extérieur [Choppy, 1988]. En effet, le dioxyde de carbone karstique est essentiellement d'origine pédologique, et la "respiration des sols" consomme de l'oxygène, et rejette du CO<sub>2</sub> avec un remplacement mole à mole.

Concernant le déficit en oxygène des atmosphères karstiques, ses origines possibles sont multiples [Lismonde, 2002] :

- 1) La respiration des sols : c'est le mécanisme précédemment cité, à l'origine de l'essentiel du CO<sub>2</sub> karstique. Mais on a dans ce cas une compensation de ce déficit par la même quantité de dioxyde de carbone.
- 2) L'apport d'un autre gaz : plusieurs mécanismes sont possibles, d'origine naturelle ou artificielle. Les gaz d'origine naturelle pourront être [Ostermann, 1990] le monoxyde de carbone - CO (d'origine profonde) ;

#### Le complexe Fanges-Paradet.

	Salle 1	Azathoth 2	B. Miskatonic 3	Appel au Vide 4	Trémie Nocturnes 5	Charbonniers 6
13/08/98	CO <sub>2</sub>					
	O <sub>2</sub>	20,45	20,25	20,35	19,6	
	T°air					
07/07/01	CO <sub>2</sub>	0,78	0,82	0,82	1,4	
	O <sub>2</sub>	20,1	19,9	19,9	19,5	
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,88	20,72	20,72	20,6	
	T°air	10,5	10,5	10,5	10,5	
04/08/01	CO <sub>2</sub>	0,78	0,85			
	O <sub>2</sub>	19,9	19,7			
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,68	20,55			
	T°air	10,5	10,5			
09/08/01	CO <sub>2</sub>	0,78	0,85	0,85		
	O <sub>2</sub>	19,9	19,7	19,7		
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,68	20,55	20,55		
	T°air	10,5	10,5	10,5		
25/08/01	CO <sub>2</sub>	0,55	0,75	0,75	0,7	0,2
	O <sub>2</sub>	20	19,7	19,9	20	20,9
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,55	20,45	20,65	20,7	21,2
	T°air	10,5	10,5	10,5	9,6	9,4
16/09/01	CO <sub>2</sub>					
	O <sub>2</sub>	20,2	20,2			
	T°air	10,5	10,5			

#### La grotte-aven de la Coume dels Adoutx

	Sommet P8 1	Confluence 2	Micro-salle 3	Étroiture -41 4	Siphon 5
07/06/98	CO <sub>2</sub>				
	O <sub>2</sub>	20,2	19,1	18	16,2
	T°air				18,2
09/06/01	CO <sub>2</sub>	0,5	0,2	0,23	0,75
	O <sub>2</sub>				
	T° air	12,6	12,1	12,1	11,7
					13,4

#### Le Buffo Fret (Aude)

		Bas cordes 1	Carrefour 2	Gal Sable 3	Rivière 4
22/07/01	CO <sub>2</sub>	0,15	0,15		
	O <sub>2</sub>	20,90	20,90	20,90	20,90
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	21,05	21,05		
	T°air	9,60	9,30	9,50	8,40

l'ammoniac - NH<sub>3</sub> (peut être produit par le guano et les mécanismes de putréfaction), l'hydrogène sulfuré - H<sub>2</sub>S à l'odeur très caractéristique (fermentations anaérobies, oxydation de pyrite, activité géothermale,...); le méthane - CH<sub>4</sub> - (d'origine profonde); enfin un apport de CO<sub>2</sub> d'origine profonde également. Mais ces gaz - d'ailleurs très toxiques - sont assez exceptionnels en milieu karstique, et souvent détectés seulement à l'état de traces (nous n'envisageons pas ici les apports anthropiques).

3) La consommation d'O<sub>2</sub> : on peut imaginer que la présence d'une substance réductrice dans la cavité (filon métallique par exemple) provoque une consommation d'oxygène avec peu ou pas de dégagement de CO<sub>2</sub>.

Pour l'étude qui nous intéresse, parmi les trois mécanismes qui peuvent entraîner un déficit en O<sub>2</sub>, seuls les premier et troisième seront retenus. En effet, l'apport d'un autre gaz susceptible de faire diminuer la teneur en oxygène dans les proportions observées entraînerait des symptômes, voire de graves intoxications.

Par ailleurs, les anomalies concernant la somme O<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> peuvent s'expliquer par :

- une diffusion différentielle du CO<sub>2</sub> à partir du lieu d'arrivée dans les conduits karstiques : le CO<sub>2</sub> étant plus lourd que l'air, il s'accumule dans les zones déclives, le déficit en O<sub>2</sub> persistant alors dans les zones plus hautes ;

- une dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau (loi de Henry), favorisée par une meilleure dissolution que pour l'oxygène. A l'équilibre, on obtiendra alors un déficit en O<sub>2</sub> [Choppy, 1988].

Si l'on admet donc que la composition atmosphérique des cavités est uniquement déterminée par l'horizon pédologique (mécanisme 1), on a donc une disparition du CO<sub>2</sub>.

### La grotte du Banquier

Date		Avant confluence 1	Seuil siphon 2	Labyr. 3	Siphon 24	Cochon lointain 5	Base Remontée 6	Haut Remontée 7	Chem B 8
15/06/01	CO <sub>2</sub>		0,60						
	O <sub>2</sub>	20,90							
	T° air	12,00	12,00						
15/06/01	CO <sub>2</sub>		0,15						
	O <sub>2</sub>	20,90							
	T° air	12,00	11,80						
24/06/01	CO <sub>2</sub>		0,48						
	O <sub>2</sub>	20,90	20,30						
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		20,78						
	T° air	12,00	11,90						
30/06/01	CO <sub>2</sub>		0,48		0,70				
	O <sub>2</sub>	20,90	20,30	20,30	20,00				
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		20,78		20,7				
	T° air	12,00	11,90	12,00	12,00				
1/09/01	CO <sub>2</sub>		0,10	0,10		0,50	0,75	0,35	
	O <sub>2</sub>	20,90	20,90	20,90		20,20	20,10	20,30	20,90
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		21	21		20,70	20,85	20,65	
	T° air	12,00	11,90	11,90		12,00	12,10	11,90	11,90

		Echelle 1	Site1/39 2	Arrivée 3	Siphon 4
16/07/01	CO <sub>2</sub>	0,20	0,15	0,30	0,25
	O <sub>2</sub>	20,40	20,90	20,10	18,80
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,60	21,05	20,40	21,05
	T° air	10,20	9,40	9,60	9,90
30/09/01	CO <sub>2</sub>	0,15	0,10	0,30	0,15
	O <sub>2</sub>	20,30	20,30	20,10	18,30
	Σ CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20,45	20,40	20,40	19,45
	T° air	10,10	9,40	9,60	9,90

TM 71

Figure 7 : Modèle Numérique de Terrain du réseau Fanges-Paradet (Pyrénées-Orientales). Extension 3 x 2 x 0,5 km. Digital Elevation Model of the cave system Fanges-Paradet.

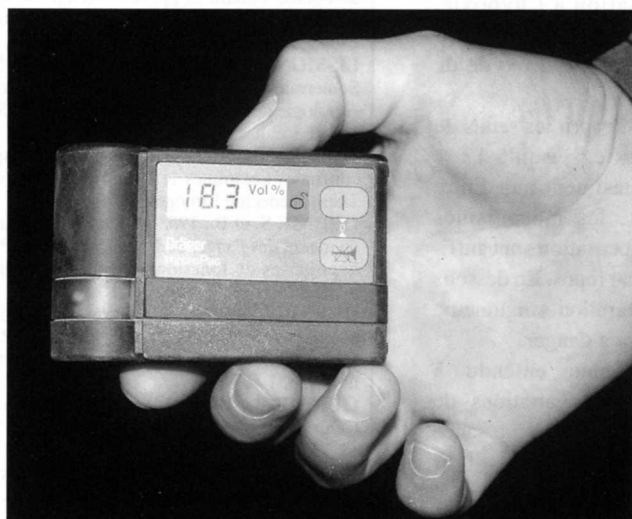
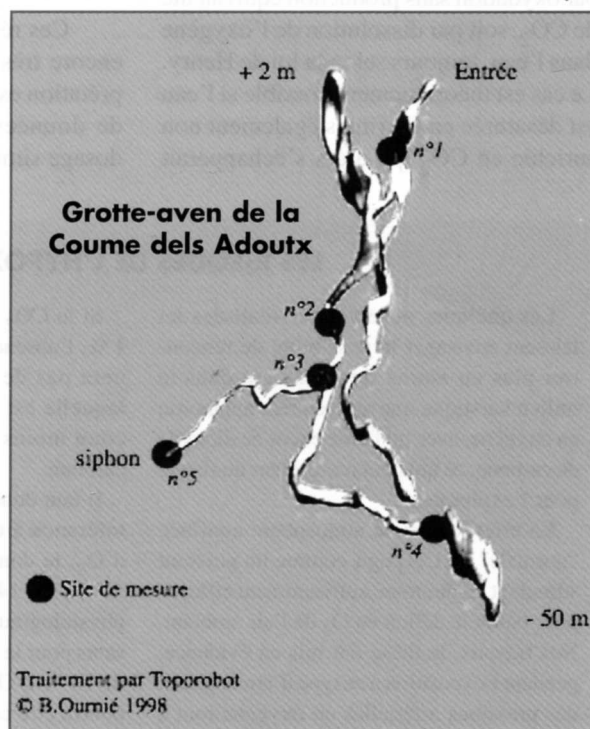


Photo 1 : Valeur anormalement basse de la teneur en O<sub>2</sub> mesurée à l'oxygénomètre Dräger, grotte du TM 71 (haute vallée de l'Aude). Low O<sub>2</sub> content measured with a Dräger oxygenometer in the TM 71 cave (Aude high valley).

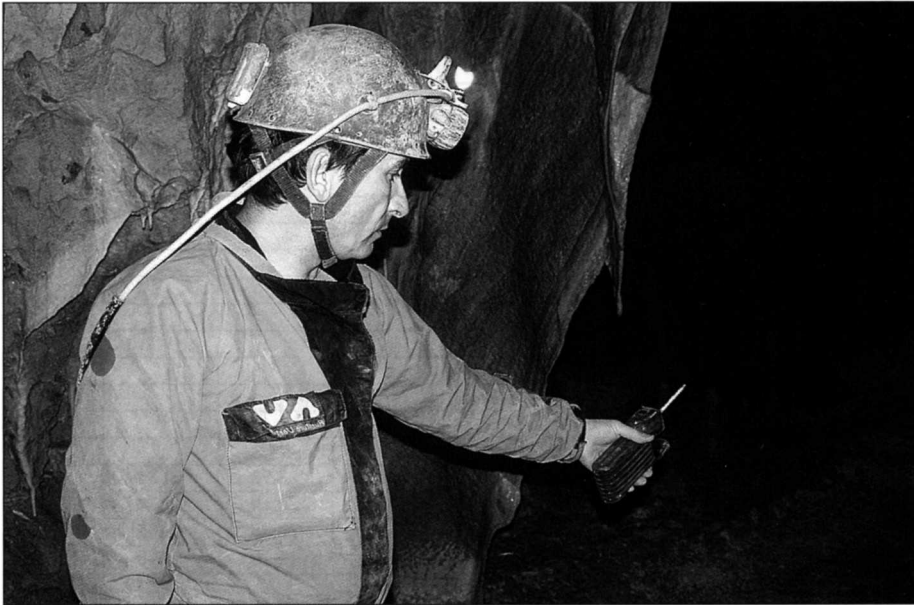


Photo 2 : mesure du CO<sub>2</sub> à la pompe Dräger, grotte du TM 71.  
Measuring the CO<sub>2</sub> content with a Dräger pump in the TM 71 cave (Aude high valley).

Comme le déficit en O<sub>2</sub> s'accroît dans les zones basses des cavités sans accroissement du CO<sub>2</sub>, le phénomène de diffusion différentielle n'est pas recevable. On peut supposer alors que l'anomalie est due à une absorption du CO<sub>2</sub> par les eaux de la nappe.

La deuxième hypothèse serait une disparition de l'oxygène d'une atmosphère originellement peu enrichie en CO<sub>2</sub> soit par oxydation sans production équivalente de CO<sub>2</sub>, soit par dissolution de l'oxygène dans l'eau, toujours selon la loi de Henry. Le cas est théoriquement possible si l'eau est désaturée en O<sub>2</sub> (mais également non enrichie en CO<sub>2</sub> qui alors s'échapperait

dans l'atmosphère). On aurait dans ce cas un déficit en O<sub>2</sub> atmosphérique sans excès de CO<sub>2</sub>.

Mais ces deux hypothèses se heurtent à la notion connue d'un enrichissement en CO<sub>2</sub> endokarstique d'origine profonde dans les Corbières [Bakalowicz 1992, Faillat 1997]...

## CONCLUSION

Ces résultats sont bien évidemment encore très fragmentaires, et leur interprétation est par ailleurs gênée par le peu de données disponibles concernant le dosage simultané du dioxyde de carbone

## LES RISQUES DE L'HYPOXIE

Les quelques observations réalisées ici laissent envisager la possibilité de rencontrer plus ou moins fréquemment dans le milieu karstique une atmosphère appauvrie en oxygène, avec un faible excès de dioxyde de carbone, ce qui peut représenter un risque pour l'explorateur.

En effet, dans une atmosphère confinée "normale", le CO<sub>2</sub> agit comme un puissant stimulant respiratoire, suffisamment efficace pour palier le déficit en O<sub>2</sub> de l'air ambiant. Nos travaux de thèse ont mis en évidence, pendant l'exposition à ce type d'atmosphère, des pressions artérielles en oxygène tout à fait normales (voire supérieures à la norme) malgré un déficit en O<sub>2</sub> pouvant atteindre 3,5%. Il existe cependant un seuil de rupture des processus de compensation qui reste à déterminer chez l'homme.

Si le CO<sub>2</sub> atmosphérique est inférieur à 1%, l'absence d'hyperventilation n'entraînera pas de compensation à l'hypoxie, laquelle est d'ailleurs un stimulus beaucoup moins puissant que le dioxyde de carbone.

Il faut donc garder à l'esprit les seuils de tolérance à cette hypoxie : jusqu'à 17% d'O<sub>2</sub>, le danger est quasiment nul. Entre 17% et 14% d'O<sub>2</sub>, les mécanismes physiologiques de compensation sont suffisants pour le sujet sain au repos. En dessous de 14% d'O<sub>2</sub>, la désaturation sanguine ne pourra être corrigée, il y a danger.

Ces valeurs sont bien entendu à tempérer en fonction des variations de susceptibilité individuelle et de la présence éventuelle d'un gaz toxique dans l'air respiré.

et de l'oxygène dans le karst. Il est cependant intéressant de remarquer que d'autres travaux ont fait état de cette anomalie, ce qui fait dire à Choppy qu'une généralisation du déficit en O<sub>2</sub> est possible.

Concernant les observations que nous avons réalisées, on se retrouve devant deux hypothèses au moins : disparition du CO<sub>2</sub> à partir d'une atmosphère à l'origine riche en ce gaz, ou disparition de l'O<sub>2</sub> avec une atmosphère originelle faiblement confinée. Dans les deux cas, le rôle joué par la zone noyée est certainement primordial, mais reste à préciser par des mesures hydrogéochimiques.

## Remerciements

Nous tenons à remercier l'association TM 71 et le conservateur de la réserve naturelle Philippe Moreno, qui nous ont autorisés lors de séances de levés topographiques à procéder à des mesures atmosphériques. La Commission Médicale de la Fédération Française de Spéléologie soutient notre action par une aide matérielle, le prêt de la pompe Dräger, l'achat de réactifs, et la mise à disposition d'une riche documentation sur le CO<sub>2</sub> souterrain. Soulignons la collaboration amicale avec les associations de recherches spéléologiques suivantes : Arkham (P.O.), le Collectif Banquier 2000, le Groupe Spéléologique de Montpeyroux (Hérault), et le Spéléo Club Corbières Minervois (Aude).

## BIBLIOGRAPHIE

- BAKALOWICZ M., 1992** - Le CO<sub>2</sub> dans le karst et dans les grottes. *Lo Bramavenc*, n°13, pp.112-122.
- CHOPPY J., 1998** - Composition de l'air. Processus climatiques dans les vides karstiques. *Collection Phénomènes karstiques*, S.C. Paris, 79 p.
- FAILLAT J.-P., 1997** - Abondance et origine des composés carbonés inorganiques des sources karstiques du Languedoc-Roussillon. *Actes du 12<sup>e</sup> Congrès international de Spéléologie*, La Chaude-Fonds. Volume 2, pp. 85-90 (engl. summ.).
- GEZE B., 1965** - La Spéléologie Scientifique. *Coll. Rayon de la Science*, éd. Seuil, Paris, 190 p.
- LISMONDE B., 2002** - Climatologie du Monde Souterrain Tome 1 : Vent des Ténèbres ; Tome 2 : Aérologie des systèmes karstiques. éd. CDS Isère, 168 et 362 p.
- OSTERMANN J.M., 1990** - Les atmosphères confinées karstiques et autres gaz des cavernes. Thèse médecine Limoges, 166 p.
- OURNIE S. et B., 1985** - Le complexe souterrain du massif des Fanges et du chaînon du Roc Paradet, hypothèses de fonctionnement. *Spelunca* n°18, p. 30-36.
- OURNIE B., 1987** - Présentation spéléologique du Massif des Fanges et du chaînon Paradet (Fenouillèdes, Aude et Pyr. Orient.). *Karstologia* n°10, pp. 1-6.
- OURNIE B., 1998** - Messes noires au puits de l'Ours. *Spélé-Aude*, éd. C.D.S. Aude, n°7, pp. 42-53.
- RENAULT Ph., 1972** - Le gaz des cavernes. *Science Progrès Découverte*, mars 1972, pp. 12-18.