



**MINISTERE DES
AFFAIRES ECONOMIQUES**

**ADMINISTRATION DE LA
QUALITE ET DE LA SECURITE**

**MINISTERIE VAN
ECONOMISCHE ZAKEN**

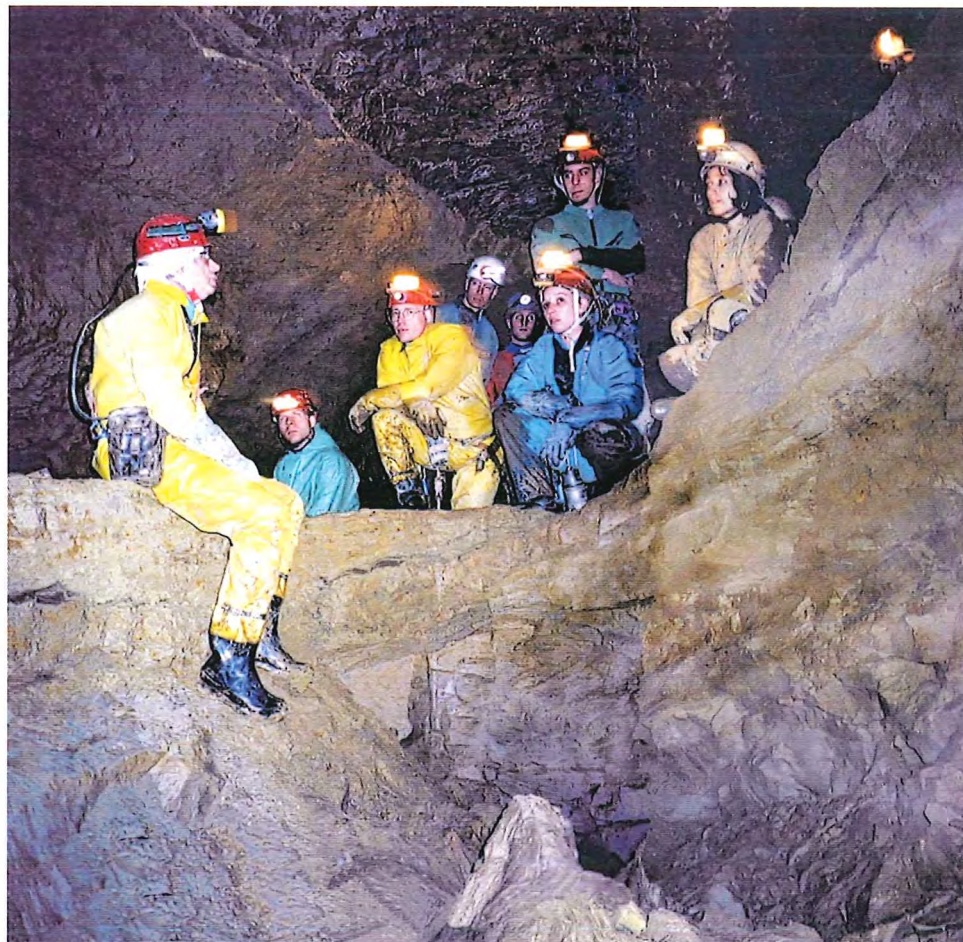
**BESTUUR
KWALITEIT EN VEILIGHEID**

**GEOLOGICAL SURVEY OF BELGIUM
PROFESSIONAL PAPER 2001/3
N. 295**

**ACTES DES JOURNEES DE SPELEOLOGIE SCIENTIFIQUE
HAN-SUR-LESSE 1997 à 2000**

Sophie VERHEYDEN & Charles BERNARD

**SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE
BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST**



Rue Jenner 13 - 1000 Bruxelles
Jennerstraat 13 - 1000 Brussel

ISSN 0378-0902

**MINISTERE DES
AFFAIRES ECONOMIQUES**

ADMINISTRATION DE LA
QUALITE ET DE LA SECURITE
SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE

**MINISTERIE VAN
ECONOMISCHE ZAKEN**

BESTUUR
KWALITEIT EN VEILIGHEID
BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST

GEOLOGICAL SURVEY OF BELGIUM
PROFESSIONAL PAPER 2001/3
N. 295

**ACTES DES JOURNEES DE SPELEOLOGIE SCIENTIFIQUE
HAN-SUR-LESSE 1997 à 2000**

Sophie VERHEYDEN¹

& Charles BERNARD²

Commission Scientifique de l'Union Belge de Spéléologie

et

Centre Belge d'Etudes Karstologiques

Groupe de contact du FNRS

¹Rue des Champs Elysées, 50 — 1050 Ixelles
sverheyd@vub.ac.be

²Rue Rasson, 41 — 1030 Schaerbeek
charles.bernard@chello.be

Photo de la couverture:
Grotte de Han-sur-Lesse
par Charles Bernard ©

Redactieraad: Léon DEJONGHE
Pieter LAGA
Secretaris: Michiel DUSAR
Jennerstraat 13
1000 Brussel

Comité éditorial: Léon DEJONGHE
Pieter LAGA
Secrétaire: Michiel DUSAR
rue Jenner 13
1000 Bruxelles

Toute l'information économique en clair et net sur
[http : //mineco.fgov.be](http://mineco.fgov.be)

Alle economische informatie rechtstreeks op
[http : //mineco.fgov.be](http://mineco.fgov.be)

Editeur responsable: Michel MAINJOT

Verantwoordelijke uitgever: Michel MAINJOT

Dépôt légal ©: D 2002/0880/1

Wettelijk depot ©: D 2002/0880/1

Ont participé à l'organisation des quatre premières Journées :

Charles Bernard
Sabine Blockmans
Jean-Marie Cordy
Serge Delaby
Jean Depasse
Sophie Verheyden
Camille Ek
Thierry Jongen
Roger Vandenvinne
Pierre Overlau
Yves Quinif
Benoît Wautier

Comité de relecture :

Charles Bernard, Union Belge de Spéléologie
Sabine Blockmans, Université Libre de Bruxelles
Serge Delaby, Faculté Polytechnique de Mons
Michiel Duser, Service Géologique de Belgique
Luc Funcken, Union Belge de Spéléologie
Jean-Sébastien Houziaux, Institut Royal des Sciences Naturelles
Benoît Lebeau, Union Belge de Spéléologie
Muriel Moens, Union Belge de Spéléologie
Sophie Verheyden, Musée Royal d'Afrique Centrale
Camille Ek, Université de Liège
Roger Vandenvinne, Union Belge de Spéléologie
Jack London, Union Belge de Spéléologie
Luc Willems, Université de Liège

Table des matières

	Page :
- Préface, Sophie VERHEYDEN et Charles BERNARD	3
- Programme de la journée du samedi 8 novembre 1997	7
- Les découvertes néandertaliennes dans les grottes allemandes, Wilfried & Gaëlle ROSENDAHL	9
- La prospection par résistivité à la portée de tous, Albert BRIFFOZ	12
- Le tube à vent de l'abîme de Beaumont à Esneux, Jean GODISSART	18
- Essai de contribution à la cohabitation des chauves-souris et des hommes, Jean-Marie HUBART	21
- Programme de la journée du samedi 21 novembre 1998	27
- Recherches dans l'abîme de Comblain-au-Pont, Pol XHAARD	29
- Le double système karstique de l'Isbelle à Hotton, Richard GREBEUDE	32
- Les cristallisations du Réseau Lachambre, Pyrénées Orientales (France), Claude MASSART	35
- Enigme hydrogéologique à Plainevaux, Neupré, José SCHOONBROODT	38
- Aperçu karstogénétique de la grotte Sainte-Reine à Pierre-la-Treiche, Lorraine (France), Benoit LOSSON	41
- Les cavernicoles et l'argile, Jean-Marie HUBART	46
- Découvertes récentes sur l'hibernation de chiroptères, Thierry KERVYN	51
- Apport des traçages dans l'établissement des zones de surveillance des captages karstiques, Georges MICHEL	54
- Les vitesses d'érosion dans les résurgences chimiquement vraies, Jean GODISSART	62
- Les variations du radon dans les galeries de drainage du bassin supérieur de la Société Electrique de l'Our, Vianden (G. D. de Luxembourg), Francis MASSEN	64
- Puits soufflard et calcul des vides dans un karst couvert, l'exemple du sondage de Ramegnies-Chin, Bassin de Tournai, Francis MASSEN, Michiel DUSAR, Walter LOY et Noël VANDENBERGHE	67
- La grotte «La Merveilleuse» à Dinant, Camille EK, Jean GODISSART, Claire GOSSELIN et Roger VANDENVINNE	71
- Programme de la journée du samedi 20 novembre 1999	75
- 20.000 ans d'histoire géologique dans la grotte de Han-sur-Lesse, Sabine BLOCKMANS	77
- La faune troglodyte de Belgique, Michel DETHIER et Jean-Marie HUBART	80
- La topographie de précision en milieu souterrain : applications à la grotte de Comblain-au-Pont, Serge LAFAYE	83
- Le ravin du Colebi à Dinant, Jean GODISSART	85
- 20 ans d'expéditions spéléologiques belges au Mexique, Richard GREBEUDE	88
- Le karst néerlandais, Herman DE SWART	92
- La grotte du Fayt à Jemelle, Serge DELABY, Camille EK et Sophie VERHEYDEN	98
- Programme de la journée du samedi 18 novembre 2000	101
- La faune du milieu hyporéique et aquifère, Michel DETHIER	103
- La faune du milieu souterrain superficiel, Jean-Marie HUBART	107
- Karst profond dans le Viséen du sondage de recherche géologique de Fourn-le-Comte, Michiel DUSAR	110
- Hypsométrie des grottes de versant dans les vallées de l'Ourthe et de la Lesse inférieure, Jean GODISSART	114
- Les travaux spéléologiques belges au Mexique, Richard GREBEUDE	116
- Les squelettes préhistoriques de l'abri des Autours à Anseremme, Dinant, Caroline POLET et Nicolas CAUWE	122
- Hochifen et Gottesackerplateau (Alpes bavaroises), un terrain de recherches spéléologiques international, Gaëlle & Wilfried ROSENDAHL	126
- Coloration de la Lesse souterraine de Furfooz à Chaleux, Eric VAN DEN BROECK	130
- Les concrétions, enregistreurs naturels, Sophie VERHEYDEN	133
- Problématique des karsts en roches silicatées non carbonatées, L'exemple de Mfoula, Sud Cameroun. Luc WILLEMS, André POUCKET & Jean-Paul VICAT	135
- Etude fine des fluctuations des niveaux d'eau dans quelques systèmes karstiques belges : premiers résultats, Philippe MEUS	140

Photo de couverture :

Excursion 2000 dans la Nouvelle Galerie de la grotte de Rochefort (cliché : Charles BERNARD).

Préface

Sophie VERHEYDEN et Charles BERNARD

Membres du comité d'organisation des Journées

C'est en 1996, lors de l'assemblée annuelle du CBEK, que Yves Quinif évoqua l'idée de l'organisation d'une journée de spéléologie scientifique. D'emblée il la voulut ouverte aux intervenants de toutes disciplines, intéressés par l'étude du karst et du monde souterrain. Egalement pressentie d'emblée comme co-organisatrice, la Commission Scientifique de l'Union Belge de Spéléologie s'est montrée enthousiaste à l'idée. En effet un des buts de la commission étant le rapprochement entre les spéléologues et les scientifiques, une telle journée, ouverte à tous, ne pouvait que favoriser ce type de contact et d'échange.

La première journée de 1997, rassembla 91 personnes venues écouter 14 communications. En parallèle 8 posters étaient exposés. Un beau succès qui poussa les organisateurs à réitérer l'évènement l'année suivante mais avec une crainte : y aurait-il suffisamment de présentations ? Au fur et à mesure des inscriptions, les appréhensions furent vite envolées puisque ce n'est pas moins de 16 orateurs qui se succédèrent devant 94 personnes avec près de 10 posters présentés.

Depuis, les journées ne désespèrent pas avec un nombre de participants dépassant maintenant les 100 personnes et toujours autant de présentations. A travers ces chiffres on peut raisonnablement supposer que les journées répondaient, et répondent toujours, à un réel besoin. Les rassemblements à caractère scientifique existaient certes, mais étaient rares et ponctuels. Les recherches, elles, n'ont jamais cessées et un moment connu et régulier pour en divulguer les résultats était manifestement nécessaire.

On peut même dire que l'on est allé au-delà, que la journée est entrée dans les mœurs. "Tout le monde" sait qu'elle a lieu chaque année, mi-novembre, et que donc les recherches que l'on mène pourront être présentées à ce moment. On voit à la journée un géologue venir parler d'un niveau karstique révélé dans un sondage effectué pour de toutes autres raisons. Parions que si la journée n'existait pas, ce niveau karstique n'aurait jamais fait l'objet d'une publication. On voit un spéléologue effectuer des derniers relevés sur le terrain, quelques jours avant sa communication sur un tracé, afin de faire une présentation "up to date" à son public : la journée stimule même la recherche !

Les spéléologues ne parcourent plus les galeries souterraines sans faire attention aux "petites bêtes" qui étaient quasi invisibles à leurs yeux avant que 9 communications de biospéologie ne soient présentées aux journées. La paléontologie et l'archéologie en milieu karstique sont aussi bien présentes, puisque pas moins de 8 présentations ont permis aux participants de se rendre compte que les dépôts qu'ils foulaient régulièrement de leurs bottes, peuvent receler bien des trésors cachés.

Les scientifiques de profession découvrent de nouvelles grottes et certaines particularités du monde souterrain grâce aux observations des spéléologues. Espérons que la Journée de Spéléologie Scientifique soit à la base de nombreuses collaborations scientifico-spéléologiques. Espérons qu'elle soit également une motivation supplémentaire à quelques karstologues, biospéologues, archéologues ou spéléologues en herbe.

Pour que toutes les informations intéressantes présentées à la Journée ne soient pas perdues, nous avons voulu publier des actes. Les Profesional Papers, édité par le Service Géologique de Belgique et publié par le Ministère des Affaires économiques et de l'énergie nous paraît le moyen idéal pour toucher les personnes directement concernées par les questions scientifiques liées au monde souterrain. Cette publication se trouve d'ailleurs dans la lignée de diverses publications précédentes dans cette série comme, par exemple, "Hydrologie souterraine par prospection directe : contribution à l'étude des karsts aquifères de Belgique" par le SCUCL-CTS-GBRS (P.P. 8, 1972), "Les analyses d'eaux des calcaires paléozoïques de la Belgique" par C. Ek (P.P. 18, 1973), "Cavités karstiques de la Province de Liège" par J. Dubois (P.P. 187 et 188, 1982) et "Belgian-Vietnamese speleological expedition Son La, 1993" par M. Duser, J. Masschelein, P.C. Tien et D. Tuyet (P.P. 271, 1994).

Ces publications montrent que l'on s'intéresse au karst belge. Néanmoins il reste un grand nombre de questions à élucider concernant des liaisons hydrologiques mais aussi concernant les anciens climats, l'enfoncement du réseau hydrographique, etc., des questions moins directement liées au karst lui-même mais pour lesquelles le karst belge pourrait apporter des réponses.

A un moment où internationalement les scientifiques s'intéressent de plus en plus au karst, il est important que la Belgique continue à s'intéresser au monde souterrain et puisse continuer à jouer un rôle de meneur sur le plan spéléologique et karstologique.

Journée du samedi 8 novembre 1997

(Les présentations **en gras** sont publiées dans les présents actes)

Conférence :

- Le réseau hydrogéologique de la Lembrée,
Pol DE BIE, S.C. Avalon.

Communications :

- L'abîme de Comblain-au-Pont : une formation historique ?
Jean-Marie CORDY, Mircea UDRESCU et Geneviève YERNAUX, Université de Liège.
- La grotte des Trois Entrées (Remouchamps) : un nouveau gisement paléontologique du Pléistocène supérieur.
Jean-Marie CORDY, Mircea UDRESCU et Geneviève YERNAUX, Université de Liège.
- L'archéologie de la grotte Walou (fouilles 85-91).
Michel DEWEZ, Université de Liège et Eric Teheux, Université de Louvain-la-Neuve.
- **Les découvertes néandertaliennes dans les grottes allemandes.**
Wilfried & Gaëlle ROSENDAHL, Geologisch-Paläontologisches Institut TU Darmstadt, Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher.
- **La prospection par résistivité à la portée de tous.**
Albert BRIFFOZ, Club de Recherches Spéléologiques Ourthe-Amblève.
- Sédimentologie et chronostratigraphie du gisement archéo-paléontologique de la Belle-Roche,
Virginie RENSON et Etienne JUVIGNE, Université de Liège.
- Chronologie des dépôts chimiques dans la grotte de la Fontaine de Rivière (Sy).
Jean GODISSART, Union Belge de Spéléologie.
- **Le tube à vent de l'abîme de Beaumont à Esneux.**
Jean GODISSART, Union Belge de Spéléologie.
- **Essai de contribution à la cohabitation des chauves-souris et des hommes (7 années d'observation).**
Jean-Marie HUBART, Laboratoire de biologie souterraine de Ramioul.
- Contribution à l'écologie de la végétation des grottes de Belgique.
Nancy GARBACKI et Lucien HOFFMANN, Université de Liège.
- Première expérience de traçage en continu sur un système karstique : des hypothèses à la réalité.
Philippe MEUS, C.N.R.S., France.
- Plafonds plats et cloches de plafond : deux critères d'une genèse phréatique.
Camille EK, Université de Liège.
- Les réseaux post-siphon de la grotte de Hotton.
Serge DELABY, CSARI, Roland GILLET et David GUEULETTE, Spéléo Club de Belgique.
- L'atlas du karst wallon : un outil pour une gestion intégrée des régions calcaires de Wallonie.
Georges THYS, Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains.

Posters :

- Le paléokarst fossilifère de la Belle-Roche.
Jean-Marie CORDY, Université de Liège.
- Données nouvelles sur les paléokarsts fossilifères de Sardaigne.
Muriel TURMES, Université de Liège.
- Dynamique du karst et aménagement du territoire, le cas de Sprimont.
Camille EK, Université de Liège.
- Découverte d'une plate-forme carbonatée Mio-Pliocène dans un karst en Indonésie.
Jean-Michel THERY, Tours (France).
- Reconstruction paléoclimatique grâce aux isotopes stables dans les concrétions.
Sophie VERHEYDEN, V.U.B.-F.W.O, Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons et Eddy KEPPENS, V.U.B.
- Nouvelles topographies de quelques cavités remarquables du bassin de la Vesdre.
Charles BERNARD, Spéléo Club de Belgique et Francis POLROT, les Chercheurs de la Wallonie.
- Les dépressions anthropiques.
Francis POLROT, les Chercheurs de la Wallonie.
- L'atlas du karst wallon.
Georges THYS, Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains.

Excursion (dimanche 9 novembre) :

- Le laboratoire souterrain de sismologie de la grotte de Rochefort.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.

Les découvertes néandertaliennes dans les grottes allemandes.

Gaëlle & Wilfried ROSENDAHL

Geologisch-Paläontologisches Institut TU Darmstadt - Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher
Schnittspahnstrasse, 9 - D 64287 Darmstadt
wilfro@geo.tu-darmstadt.de

Résumé

*Les grottes comptent parmi les sites les plus importants en ce qui concerne les découvertes paléontologiques en Eurasie. De même, la plupart des restes humains pléistocènes découverts en Allemagne proviennent de grottes. En tout, 24 sites livrèrent des restes osseux humains datant du Pléistocène supérieur, dont six d'*Homo sapiens neanderthalensis*.*

Abstract

*Caves are the most important places for palaeoanthropologic discoveries in Eurasia. The main part of the Pleistocene human bones in Germany is also discovered in caves. Of 24 sites, 6 sites with Upper Pleistocene human remains contained bones from *Homo sapiens neanderthalensis*.*

Mots clefs

Allemagne - Grottes - Paléontologie - Archéologie - Homme de Néandertal.

Keywords

Germany - Caves - Palaeontology - Archaeology - Man of Neandertal.

1. Introduction

Les découvertes en grotte de restes néandertaliens en Belgique et en Allemagne (fig. 1) sont étroitement liées dans l'histoire de l'archéologie (Rosendahl, 1996). Le tout premier néandertalien mis à jour n'est pas, comme le nom pourrait le laisser croire, le célèbre homme de la Neandertal, mais bien celui d'Engis, découvert en 1829-30 (Schmerling, 1833/34). Il ne fut malheureusement pas reconnu en tant qu'homme fossile, et ne put ainsi donner son nom à l'espèce. Plus tard, en 1886, les hommes de Spy cette fois permirent la reconnaissance de l'Homme de Néandertal, considéré jusque là par plus d'un (p. ex. Virchow, 1872) comme un idiot rachitique ayant reçu un coup sur le crâne. Les os présentant en effet les mêmes caractéristiques que celles du célèbre voisin, la thèse d'une exception devenait de moins en moins probable. Enfin, la découverte à Sclayn de la seconde moitié de mandibule d'un enfant néandertalien en juillet 1996 correspond, à un mois près, au 140ème anniversaire de la découverte de Néandertal (Rosendahl, 1997a).

14 % de la surface totale de l'Allemagne est occupé par des zones karstifiées, dans lesquelles, jusqu'à présent, 11.000 grottes ont été répertoriées (Rosendahl & Rosendahl, 1997). Malgré ce nombre relativement important, seules 24 d'entre elles ont livré des restes humains du Pléistocène récent (hommes de Néandertal et hommes modernes), pour la plupart dans le sud-ouest du pays, dans le Jura souabe (Rosendahl, 1997 b et c).

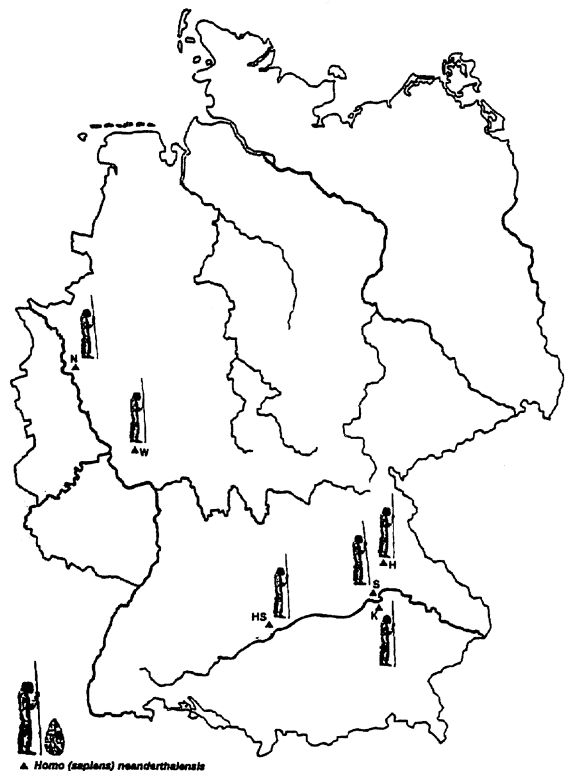


Figure 1 : Carte de répartition des sites. N= Neandertal, H= Hunas, W= Wildschauerhöhle, K= Klausennische, S= Sesselfelsgrötte, HS= Hohlenstein-Stadel.

Les hominidés plus anciens (*Homo heidelbergensis* et *Homo sapiens steinheimensis*) furent découverts dans des sites de plein air. Les restes holocènes (du Mésolithique à l'Age des Métaux) sont extrêmement nombreux.

2. Présentation des sites

Six des 24 sites du Pléistocène récent contenaient des restes de Néandertaliens.

2.1. Neandertal

Néandertal est le site éponyme et probablement le plus célèbre de toute l'Allemagne. Situé près de Düsseldorf en Rhénanie du Nord, c'était jusqu'en 1860 une vallée profonde et étroite où s'ouvraient de part et d'autre des grottes (Rosendahl, 1996).

L'extraction du calcaire a malheureusement détruit ce paysage pittoresque et, avec lui, la grotte renfermant les restes de l'homme de Néandertal (fig. 2). En août 1856, la petite Feldhofer Grotte fut débarrassée des sédiments qui la remplissaient afin de pouvoir extraire un calcaire «propre». Des restes osseux y furent découverts par hasard et étudiés par Fuhlrott (Fuhlrott, 1859). En plus d'une calotte crânienne, de nombreux autres restes appartenant probablement à un homme d'une

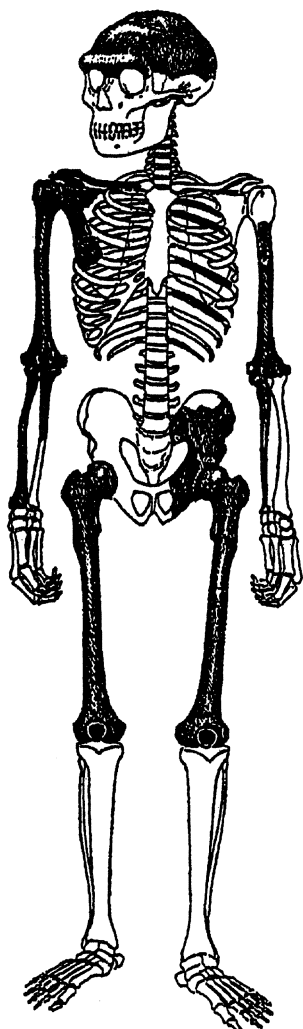


Figure 2 : restes osseux de Néandertal. Les parties colorées en noir représentent les ossements conservés (d'après G. Wandel).

quarantaine d'années furent mis à jour. Les ossements sont conservés au Rheinisches Landesmuseum de Bonn, seule la calotte crânienne est exposée.

2.2. Wildscheuer Höhle

Située à proximité de Limburg an der Lahn (Hesse), la grotte est fouillée depuis 1879, mais ce n'est qu'en 1953 que des restes néandertaliens y furent découverts, lors de fouilles ayant pour but de débarrasser la grotte de ses sédiments avant de la faire sauter (Mandera, 1954). Il s'agit de deux fragments de calottes crâniennes (fig. 3), appartenant à un adulte et à un individu juvénile (Knussmann, 1967). Les pièces sont conservées au Naturhistorisches Museum de Wiesbaden mais ne sont pas exposées.

2.3. Hohlenstein-Stadel

La troisième localité se trouve en Lonetal, dans le Jura Souabe. Les grottes préhistoriques de la vallée de la Lone (Lonetal) sont mondialement connues pour les statuettes qu'elles renfermaient, comme le cheval de Vogelherd ou tout particulièrement l'«Homme-Lion» de la grotte de Hohlenstein-Stadel (Hahn et al., 1985). L'os néandertalien découvert en 1939 dans cette grotte (fig. 4) est nettement moins spectaculaire et beaucoup moins connu. Il s'agit d'un fragment de fémur, intéressant d'un point de vue taphonomique car portant, aux deux extrémités, des traces de mâchonnement par des hyènes (Kunter & Wahl, 1992). La pièce est conservée à l'Archäologisches Landesmuseum BadenWürttemberg à Constance mais n'est cependant pas exposée.

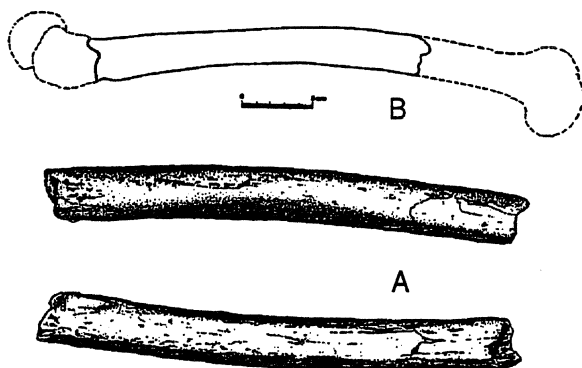


Figure 3 : fémur de Hohlenstein-Stadel.

a) Vue des deux faces de l'os. Les traces de mâchonnement sont clairement reconnaissables aux deux extrémités (d'après Kunther et Wahl 1992) - b) Reconstitution de l'entière du fémur, redessiné d'après Kunter et Wahl 1992.

2.4. Hunas

La quatrième localité se trouve en Bavière, dans les environs de Nürnberg, dans le village de Hunas. Il s'agit d'une ruine de grotte découverte en 1956 dans une carrière (Heller, 1983). Dans la couche E (partie supérieure des sédiments), une molaire isolée (M3) fut mise à jour en 1986, trente ans après la découverte du site (Groiss, 1986). La dent se trouve dans les collections de l'«Institut für Paläontologie» de l'université d'Erlangen-Nürnberg.

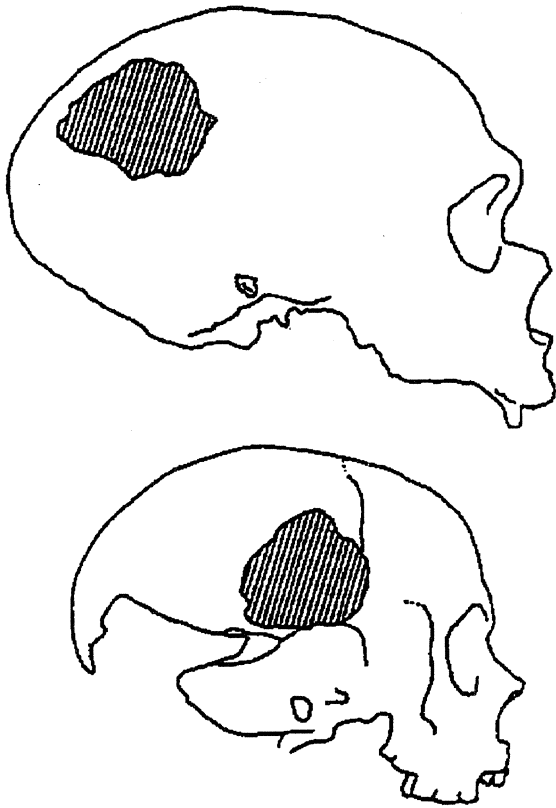


Figure 4 : fragments crâniens de Wildscheuerhöhle et position anatomique (d'après Knussmann 1967).

2.5. Klausennische

Nous restons en Bavière où, dans les environs de Ratisbonne (Regensburg), plus précisément dans la partie inférieure de la vallée de l'Altmühl, de nombreux sites archéologiques en grotte et sous abri sont connus (Kaulich et al., 1978).

L'abri Klausennische se trouve sur la rive gauche de l'Altmühl, en face du village de Kehlheim. Il fut fouillé en 1913-14. Lors de cette fouille, un reste d'incisive de lait (Obermaier & Wernert, 1914) fut mise à jour. De cette pièce il ne reste aujourd'hui qu'une seule photo, l'original ayant disparu, probablement dans la tourmente de la seconde guerre mondiale.

2.6. Sesselfelsgrotte

Juste en face de Klausennische, sur l'autre rive de l'Altmühl, s'ouvre l'abri Sesselfelsgrotte fouillé entre 1964 et 1981 (Freund, 1984). Les sédiments, épais de 5 m, renferment des restes archéologiques allant du Micoquien à l'Epi-paléolithique. Parmi les milliers de restes de mammifères découverts dans cette grotte, des restes crâniens et post-crâniens de plusieurs Néandertaliens, dont un bébé, furent identifiés en 1995 (Rathgeber, 1996). L'étude et la publication de ces pièces ne sont pas encore en cours.

3. Bibliographie

- Freund, G., 1984. Die Sesselfelsgrotte im Unteren Altmühltal.- In: Führer zu arch. Denkmälern in Deutschland, Bd. 5 u. 6, S.79-89; Stuttgart.
- Fuhlrott, J. C., 1859. Menschliche Überreste aus einer Felsengrotte des Düsseldorfthales.- Verh. Naturh. Ver. preuss. Rheinl., No. 16, p. 131-153; Bonn.
- Groiss, J., 1986. Erste Primatenfunde in der Höhlenruine von Hunas/Hartmannshof (Lkrs. Nürnberger Land).- Altnürnberger Landschaft, Mitteilungen, 35 Jg., Heft 2, p.193-197, Nürnberg.
- Hahn, J., Müller-Beck, H. & Taute, W., 1985. Eiszeithöhlen im Lonetal.- Führer zu arch. Denkmälern in Bad.-Württemberg, No. 3, 197 p.; Stuttgart.
- Heller, F., 1983. Die Höhlenruine Hunas bei Hartmannshof (Lkrs. Nürnberger Land).- Quartär Bibliothek, Vol.4, 407 p., Bonn.
- Kaulich, B., Nadler, M. & Reisch, L., 1978. Führer zu urgeschichtlichen Höhlenfundplätzen des unteren Altmühltals.- Selbstverlag; Erlangen.
- Knussmann, R., 1967. Die mittelpaläolithischen menschlichen Knochenfragmente von der Wildenscheuer bei Steeden (Oberlahnkreis). Nass. Ann., 78, S. 2-25; Wiesbaden.
- Kunter, M & Wahl, J., 1992. Das Femurfragment eines Neandertalers aus der Stadelhöhle des Hohlenstein im Lonetal. - Fundber. aus Bad.-Württemb., Bd.17/1, S. 111-124; Stuttgart.
- Mandera, H.E., 1954. Die Steedener Höhlen. 2. Bericht über Nachuntersuchungen der Höhle "Wildenscheuer" und ihres Vorplatzes 1953.- Nass. Ann., 65, 35-42; Wiesbaden
- Obermaier, H. & Wernert, P. (1914): Paläolithbeiträge aus Nordbayern.-MAGW, 44.
- Rathgeber, Th., 1996. Zur Großsäugerfauna der Sesselfelsgrotte.- Im Tagungsband zur 38. Tagung der Hugo Obermaier-Gesellschaft vom 9-13.4. in Regensburg, 1 p. Erlangen.
- Rosendahl, W., 1996. Historique des découvertes néandertaliennes en Europe.-Catalogue de l'exposition Neandertal, p.37-46, Andenne.
- Rosendahl, W., 1997a. 140 Jahre Neandertaler.- Fossilien, Nr.1/97, p. 17-20; Korb.
- Rosendahl, W., 1997b. Pleistozäne Hominidenreste aus Höhlen Südwest-Deutschlands.- Jahresheft der ArGe Höhle- und Karst, p. 21-32; Grabenstetten.
- Rosendahl, W., 1997c. Pleistocene hominid remains from caves of Germany.- Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, Vol.3, p.25-28; La Chaux-de-Fonds.
- Rosendahl, G. & Rosendahl, W., 1997. Le karst allemand. - Regards (Bull. de l'UBS), 1997,30,p.2-4; Liège.
- Schmerling, Ph.-Ch., 1833/34. Recherches sur les ossements (sic) fossiles découverts dans les cavernes de la province de Liège.- Vol. 1, 1833, 167 p., Vol.2, 1834, 195 p., 1. Vol. de planches; Liège, Collardin.
- Virchow, R., 1872. Untersuchungen des Neandertal-Schädels.- Zeitschrift für Ethnologie, Verhandlungen 4, p. 157-165; Berlin.

La prospection par résistivité électrique à la portée de tous

Albert BRIFFOZ

Club de Recherches Spéléologiques Ourthe Amblève

Rue de l'Ancienne Ecole, 42 - 4030 Grivegnée

Résumé

Le principe et le simple matériel de prospection électrique sont décrits. Ils sont appliqués avec succès dans le domaine de l'hydrologie karstique à Sprimont et Esneux, ainsi qu'en archéologie à Wéris.

Abstract

The principle of electric prospecting tool are described. They are successfully applied in karst hydrology at Sprimont and Esneux, as well as in archeology at Wéris.

Mots clefs

Belgique - Esneux - Prospection électrique - Hydrologie karstique - Plongée.

Keywords

Belgium - Electric prospecting - Karst hydrology - Diving.

1. Méthode

Le sous-sol, opaque à de nombreux rayonnements, peut cependant être prospecté patiemment par les méthodes de mesure des résistivités, dont celles par injection de courant.

Ecart d'électrodes pour la méthode de Wenner

4 électrodes de sol A - M-(O)-N - B, en ligne et centrées sur O, sont séparées par 3 intervalles égaux, de a mètres (Mechler, 1982 - Hesse, 1966 - Chaussier, 1981). a peut être adaptée au besoin de 0,2m jusqu'à des kilomètres en prospection profonde (Urrutia, 1992).

Courants et potentiels préexistants

Un millivoltmètre mesurera d'abord la polarisation $\pm mV_1$, souvent variable dans le temps, qui existe entre les électrodes de sol M et N (fig.1) et comprend :

- des courants telluriques symbolisés par mA_1 , fluctuants dans le globe (si souvent cités sans mesures par les géobiologistes);
- des polarisations spontanées stables locales (gisements métalliques, infiltrations d'eau minéralisées dans le sable, pied d'arbre puissant, volcanisme) qui préexistent dans le sol;
- un effet de «pile» (annulé avec électrodes impolarisables) entre nos électrodes métalliques et le sol.

Injection de notre courant

Dès $\pm mV_1$ relevé, on ferme l'interrupteur : un courant continu d'électrons issu de notre alimentation, mesuré au passage par le milliampèremètre et de valeur mA_2 , sera injecté entre A et B, et circulera dans le sol sous forme d'ions opposés.

Ecoulement de notre courant dans le sol

L'arc pointillé est la section par où s'écouleraient la majorité de «nos» ions en sol homogène: compromis

entre distance parcourue par mA_2 entre A et B et section offerte à son écoulement (fig.1).

Nouveau potentiel relevé pendant l'injection

On relèvera de suite (mV_2 , peut varier) la nouvelle polarisation entre M-N, elle vaut $\pm mV_2$.

Résistivité apparente du terrain

Elle vaudra $\rho_a = K [(\pm mV_2) - (\pm mV_1)] / mA_2$, où la différence des mV élimine l'influence du courant tellurique probable au moment des lectures simultanées de mV_2 et mA_2 .

Signification de la résistivité et ordre de grandeurs

ρ en Ohm.mètre représente une difficulté de progression des ions dans le terrain. Elle sera petite pour une plus forte teneur en eau non gelée (milieux poreux ou fissurés) surtout si l'eau contient des ions.

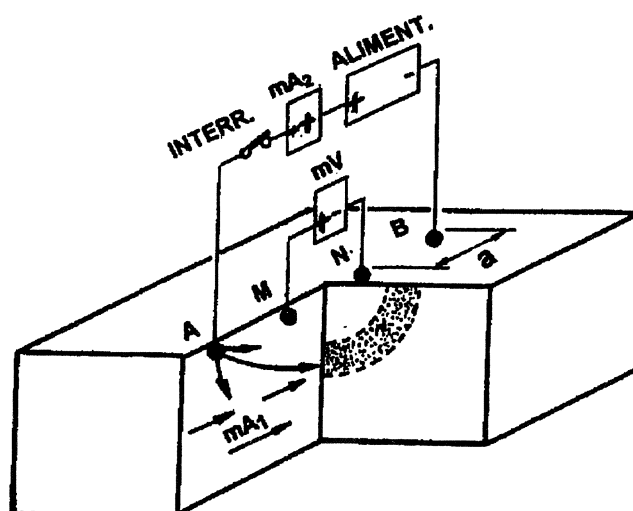


Figure 1 : branchement d'électrodes de sol système Wenner.

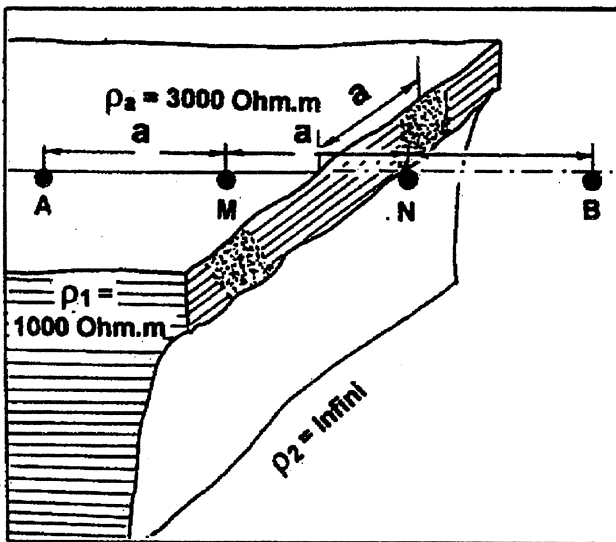
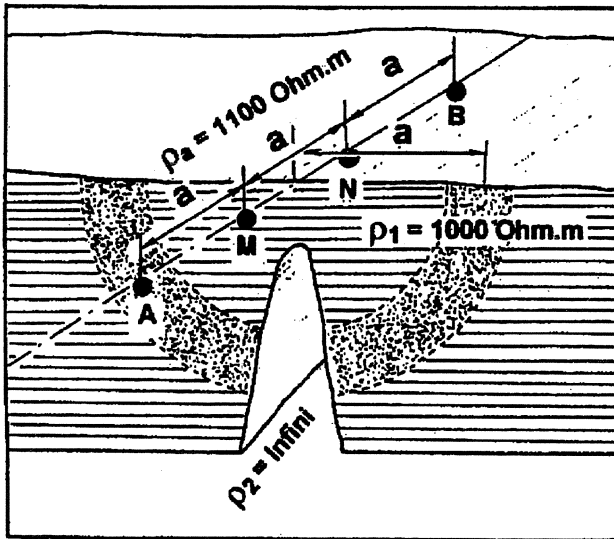


Figure 2 : deux relevés Wenner de la même diaclase sur deux azimuts perpendiculaires.

Exemples: ordres de grandeurs en Ohm.mètre : eau de mer : 0,5; eau minéralisée du karst : 20; argile humide : 50; calcaires secs : 2 000; air : infini car isolant.

Quand des ions sont mis en mouvement dans l'argile humide, un flux de quelques milliards d'ions par millimètre carré de passage et par seconde, va perdre une énergie potentielle d'une centaine de millivolts par mètre de parcours.

Coefficient Géométrique K

Pour la méthode Wenner sur sol plan $K = 2\pi a = 6,28 a$, où 2π rappelle le départ des ions depuis l'électrode A à travers des surfaces demi-sphériques.

Le sol a un petit effet de mémoire

D'autres prospections mesurent, après coupure de mA_2 , le nouveau mV_1 «gonflé» par une POLARISATION INDUITE par nous : le sol se comporte comme un accumulateur électrique.

Profil de résistivité avec intervalle a et profondeur constants

En déplaçant le groupe de 4 électrodes sur sa propre droite, on obtient un profil de résistivité, et une prospec-

tion rapide du sous-sol a même pu se faire avec de multiples électrodes le long d'un câble traîné au fond par une barque emportée par la rivière.

Pourquoi peut-on mesurer en surface la résistivité d'une zone profonde ?

A Sprimont, notre profil R_a (visible sur la fig.3) donne un maximum de ρ_a quand O passe au-dessus de la diaclase-chantier-tunnel CRSOA à Chanxhe : l'air de cette diaclase étant isolant, les ions du courant souterrain mA_2 sont rejetés par dessus, près de la surface, près de M et N, provoquant un «embouteillage» qui augmente mV_2 et ρ_a pour cette position.

C'est pour cela que mV_2 mesuré en surface, dépend du ρ_a du terrain à distance de l'ordre de a (profondeur ou latéralement). Pour parler scientifiquement : le champ électrique local (millivolts/mètre) grandit avec ρ et avec la densité de courant (milliampères par mètre carré).

Différences de mesures avec anisotropie (forte différence selon azimut)

Implantons nos électrodes autour du même centre O, une fois parallèlement et une fois perpendiculairement à la crevasse, et demandons-nous où peuvent passer (pointillés) les ions des nouveaux mA_2 dans les deux cas (fig. 2), sachant que l'air ne laisse pas passer le courant (isolant).

Remarquons la grande différence des résistivités apparentes calculées malgré la même roche de résistivité 1000 Ohm.m.

Disposition d'électrodes en carré (Louis, 1972)

Elle permet de faire passer successivement notre courant de sol sous le centre du carré, selon deux directions perpendiculaires en une seule implantation de 4 électrodes qui seront branchées successivement :

AB, AM, MN et BN

a étant le côté du carré, le coefficient $K' = 10,7 a$

Nous obtenons ainsi successivement les ρ_{a1} et ρ_{a2} donnant le facteur d'anisotropie des fissurations : $\lambda_a = \sqrt{(\rho_{a1}/\rho_{a2})}$ et la résistivité moyenne $\rho_m = \sqrt{(\rho_{a1}/\rho_{a2})}$.

En prospection aquifère en Afrique de l'Ouest, il a été constaté que la coïncidence des ρ_m minimas (eau) avec les λ_a éloignés de 1 (jusque 3 ou 1/3) donnait toujours un forage actif entre 2 et 18m³/heure (Louis, op. cit.). En français : l'eau apporte une faible résistivité, et les nombreux plans de fracturation tranchent le terrain de sorte que le courant électrique circule jusqu'à 10 fois plus facilement dans une direction que perpendiculairement, l'apport d'eau étant ainsi assuré.

Sondages à profondeur variable

Autour d'un même centre O, utilisons des groupes de 4 électrodes A - M - (O) - N - B, que nous écartons de plus en plus.

Le courant d'ions pénétrera à une profondeur proportionnelle à l'écart d'électrodes a en milieu homogène.

Terrains en deux couches horizontales distinctes (Indice 1 = sup.; 2 = infér.)

Avec les électrodes rapprochées (écart a égal à la

hauteur du milieu sup. h_1), la résistivité apparente trouvée ρ_a sera celle du milieu sup. ρ_1 . En élargissant tout le montage dès que l'écart a dépasse 8 fois h_1 , la pénétration des ions dans le milieu inférieur commençant à profondeur h_1 sera presque totale si ce milieu inférieur est plus conducteur (résistivité plus petite) que le supérieur. (ex. : eau sous dunes de sable, ...), la résistivité apparente trouvée ρ_a sera celle du milieu inf. ρ_2 .

Par contre, le milieu inférieur (roche) a souvent une résistivité ρ_2 supérieure à celle du milieu sup. ρ_1 ; pour que $\rho_a = \rho_2$, il faudra forcer la difficile pénétration dans ce milieu inf. résistant. Pour ce, il faudra que le rapport a/h_1 dépasse 6 fois le rapport des résistivités inf./sup. : ρ_2/ρ_1 .

Il existe aussi des abaques pour terrains à trois couches horizontales (Poldini et Breusse, 1950).

Disposition Schlumberger

Elle utilise un écart M-N plus réduit, la pénétration en profondeur de cette disposition dépendra surtout de l'écart A-B. Le coeff. géométrique K'' vaudra alors $K'' = 6,28 / (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN)$ qui utilise les distances inter-électrodes.

Electrodes impolarisables

Un fil de cuivre baignera dans une solution de sulfate de Cuivre, préparée avec 200 gr de sulfate dissout

à chaud vers 60 °C dans 1,2 litre d'eau déminéralisée. Cette solution sera contenue et séparée du sol par un milieu poreux (terre cuite = pot de fleur obturé, bois). Il est bon d'imprégner le sol meuble autour de l'électrode avec de l'eau ordinaire 10 minutes avant. Sur rocher, on plaquera au point voulu l'électrode avec de l'argile.

Alimentation pour sols argileux, humides, faible écart A-B

Piles de 4,5 V en série ou accumulateur de 12 V suffiront pour que notre courant injecté ait des chances de devenir supérieur à la lecture locale M-N du courant tellurique préexistant.

Alimentation pour sols secs, rocheux, ou grands écarts A-B

Il faudra utiliser des voltages élevés mais dangereux !! Couper toujours les alimentations et décharger leur condensateur avant toute manipulation d'électrodes ou filerie. On pourra employer plusieurs accus de 12 V série ou les systèmes suivants :

Avec réseau électrique 220V disponible : utiliser un transformateur d'isolement 220/220 ou deux transformateurs 220/24 accouplés en 12 V. Ce 220V séparé du réseau sera redressé (pont de diodes 2A 500V), filtré (100 microFarads 500V) et envoyé vers les électrodes A et B au travers d'une ampoule de limitation (220V 100W), du milliampèremètre et de l'interrupteur.

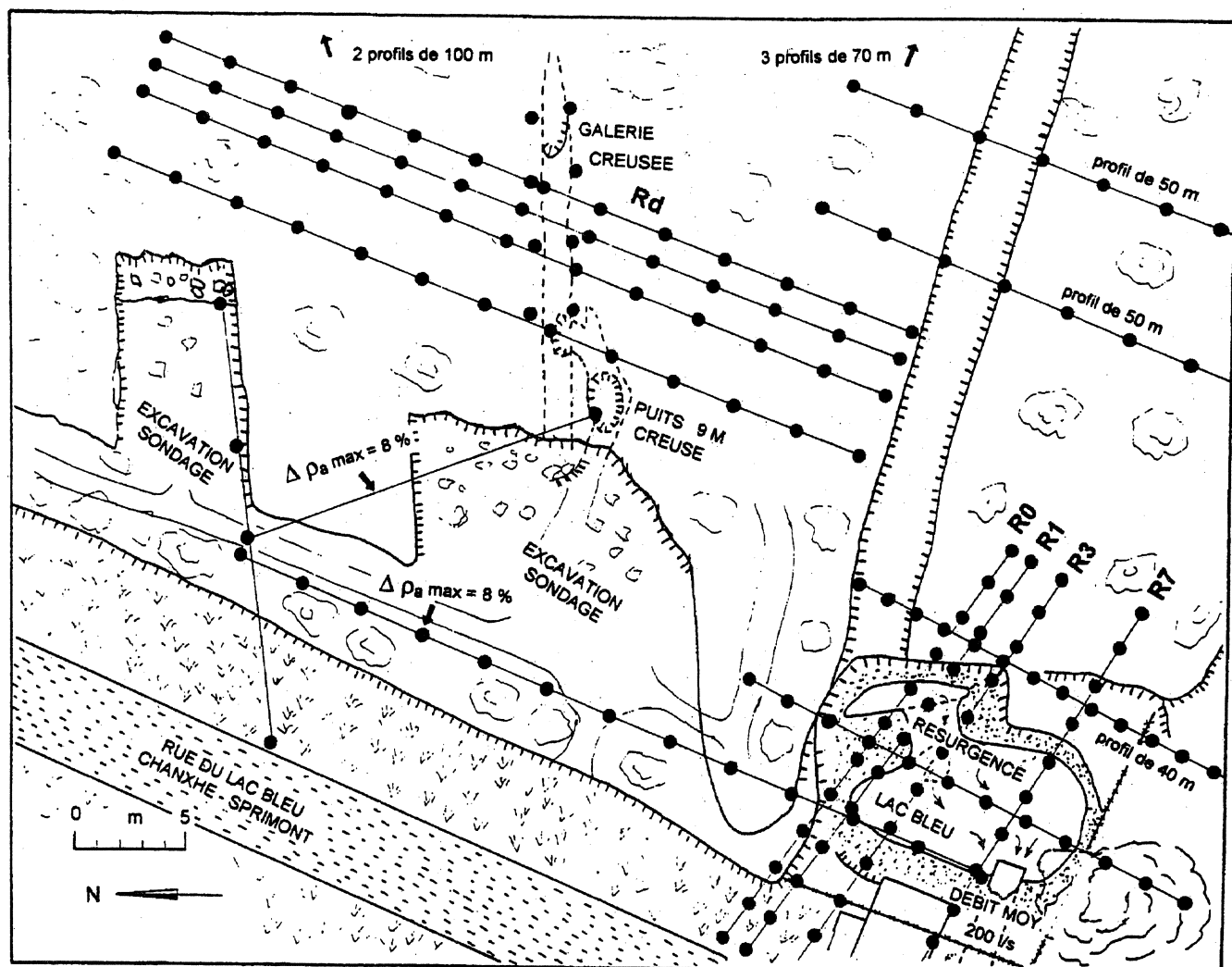


Figure 3 : quelques profils et sondages CRSOA au Lac Bleu à Sprimont.

Sans réseau 220V disponible, on peut aussi acheter une alimentation qui, avec 12 V continus, produit 220V alternatifs (environ 75 μ), redresser, filtrer et limiter comme ci-dessus.

Millivoltmètre et Milliampèremètre

Il suffit de se procurer deux multimètres digitaux courants (moins de 25 μ), capables d'afficher avec une précision de 1 mV et de 0,1 mA.

2. Prospections à la Résurgence du Lac Bleu à Chanxhe-Sprimont

Cette résurgence laisse réapparaître les eaux du vallon de Sprimont (Michel, 1971 - Briffoz, 1982-1983 A et B) qui collecte les pluies sur 14 km²; un parcours souterrain maximum de 6,6 km pour une dénivellation de 160 m. Son débit a varié de 100 à 1000 l/s pendant mes 13 mois de relevés (Briffoz, inédit. Renard, 1984. Kpondjo, 1994).

Cette résurgence est probablement devenue vauclusienne (siphon) par endiguement, pour usage de force motrice fin du 18^{ème} siècle (fonderie de métaux des Housseurs puis sciage de carrière).

Le Club de Recherches Spéléologiques Ourthe Amblève, centré à Sprimont, prospecte ce vallon depuis 1960.

Mes premiers relevés de résistivités datent de 1970. En haussant le niveau du petit lac-résurgence de 1m, de l'eau remplaçait l'air dans des creux souterrains au N de la résurgence, provoquant une baisse de résistivité locale jusqu'à 8% aux points signalés (fig.3),

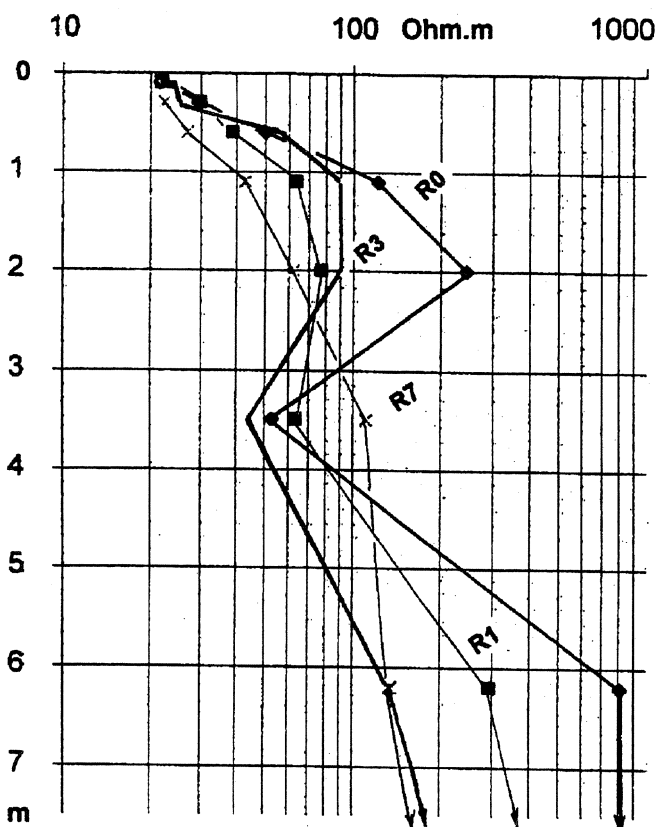


Figure 4 : Sondages de résistivité (Ohm.m) - fonction de l'écart électrodes a (m) - Lac Bleu à Chanxhe/Sprimont.

reconfirmés en 1993. C'est donc là qu'un chantier CRSOA, étalé sur 20 ans, a pénétré et élargi (forage et tirs) une diaclase fossile, vide localement sur 5 x 5 x 0,3m, mais généralement remplie de sédiments. La hauteur atteignait 10 m et nous l'avons creusée sur 3 niveaux, plus un puits jusque sous le niveau du lac.

Le profil de résistivité sur le parcours Rd présentait un maximum au-dessus de la partie vide de cette diaclase.

En 1983, des sondages (R0, R1, R3, R7 et parallèle à la route) (fig.3) centrés sur le lac montraient en R0 et

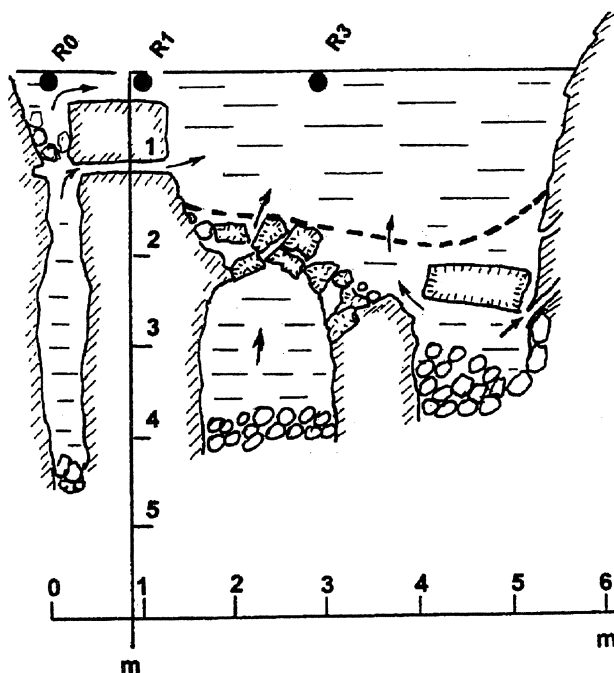


Figure 5 : Coupe N-S du lac. En pointillé: fond avant creusements CRSOA

R3 une nouvelle baisse de résistivité pour écart d'électrodes a de 3,5m (fig. 4), l'eau du lac étant à 20 Ohm.m en niveau superficiel (électrodes attachées sur perche flottante).

Dès la nouvelle évacuation vers l'Ourthe par la commune, malgré la visibilité réduite (0,3 m), nous (5 membres du CRSOA) nous sommes relayés en un chantier sous-marin au fond de ce petit lac de 1989 à 1993. Prenant la sédimentation naturelle de vitesse, nous arrivions à remonter une tonne de gros blocs (certains de 400 kg) et deux m³ de graviers. Sous l'ancien fond du lac, l'eau venant du N transitait par deux cavités pénétrables en plongée qui confirmaient les mesures de résistivité. L'arrivée d'eau active de la colline n'étant pas encore découverte en 1998, le chantier de cette résurgence, de débit comparable à la grotte touristique de Remouchamps, est toujours ouvert à tout club décidé et équipé pour (fig. 5).

3. Prospections à Wéris

Cherchant un site intact, le Service Fouilles de la Région Wallonne (Mr Toussaint), avec le Dr Philippe Masy, nous demandait de prospecter les abords et l'implantation d'un petit menhir à Morville.

Roger Vandenvinne, du Service de Géologie Appliquée de l'Université de Liège, le Dr Philippe Masy et

moi-même avons uni nos efforts pour répondre aux questions des archéologues. La radioactivité gamma, le magnétomètre à proton en deux prospections (Briffoz, 1995) et l'appareil Géonic (Very Low Frequency), n'ont pas fourni de contraste exploitable entre le poudingue (roche utilisée pour ces mégalithes) et le terrain environnant. Par contre le poudingue faisant env. 800 Ohm.m et le sol local 45 Ohm.m, les résistivités allaient fournir des réponses claires. Une première ligne contenant 13 électrodes distantes de 3 m allait fournir 10 relevés avec $a = 3\text{m}$, puis les écarts a sautant une électrode, 7 relevés avec $a = 6\text{m}$ et 4 relevés avec $a = 9\text{m}$ (passer deux électrodes). Ces trois profils montraient curieusement un minimum absolu de ρ_a près du menhir, alors qu'un menhir profond aurait, au contraire, donné un maximum.

Deux sondages électriques très proches du menhir permettaient de conclure mon rapport : pas de gros bloc enfoui, petit menhir enfoui de moins de 0,6 m et imprégnation d'eau d'un terrain remanié (Min) sous le menhir. Les dégagements superficiels du Service Fouilles de la Région wallonne ont confirmé ces trois conclusions. Reste à comprendre la signification intrigante et archéologiquement encourageante de la profondeur importante du minima.

4. Prospections à la Préalle-Sprimont

La route de Chanxhe à Lincé s'effondrait régulièrement jusque 1983, en des vides jusque 8 m³ au N-E d'une sablière. La commune, après multiples réparations et une dalle de béton, fermait cette route et demandait l'avis de Camille Ek (Université de Liège) et de notre club, le CRSOA.

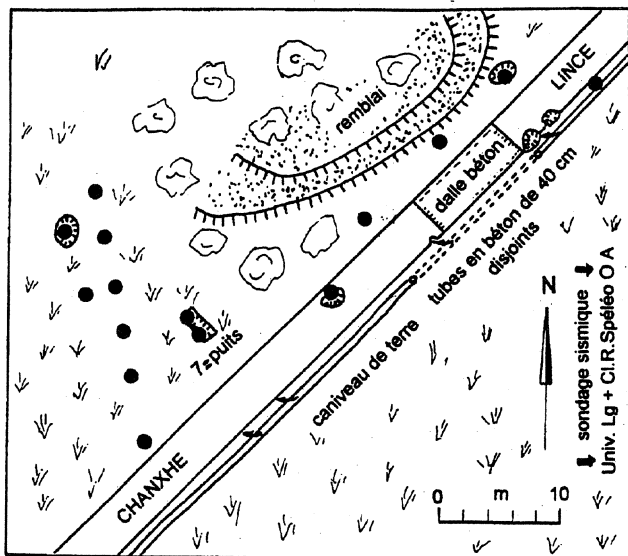


Figure 6 : électrodes dans la zone d'effondrement - Sprimont.

Avec le Service de Géologie Appliquée, nous avons sondé en sismique réfraction et carotté jusque 5 m à la tarière à main dans la prairie en contrebas, également victime des effondrements (fig. 6). J'ai, par après, coloré les 10 litres/s du ruisseau qui fuyait du caniveau bétonné disjoint pour miner la route. Il résurge seulement à 300m à l'Ouest, dans le

ruisseau de la Truchette, lui-même capté par l'entreprise de carrière Dernier et dont le trop-plein pénètre dans une chantoire vers le Lac Bleu. Le terrain étant bien gorgé d'eau par les pluies, le ruisseau avait aussi été dopé par dissolution de 250kg de chlorure de sodium (du sel). Sur les 11 points surveillés au point de vue résistivité apparente, seul le 7 avait marqué une baisse de résistivité significative dû au passage de l'eau salée (jusque 28%) (fig.7).

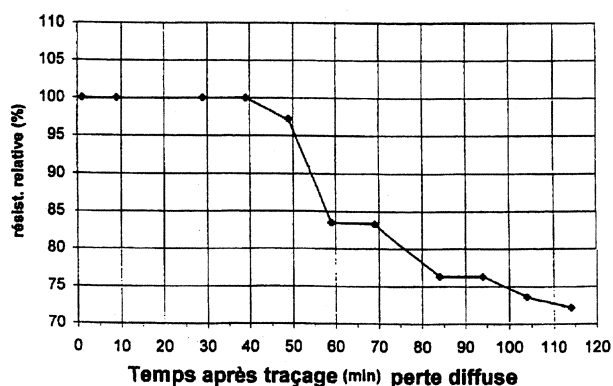


Figure 7 : passage des ions Na+ Cl - au point 7.

La commune a alors canalisé le ruisseau sous la route, après grille de filtrage, pour le faire pénétrer dans le puits de 5 m qu'ils ont aménagé à ce point 7, choisi naturellement par les eaux elles-mêmes.

La route est restée stable depuis 1983, mais le caniveau en béton à nouveau disjoint et les effondrements du pré en contrebas poussent à se méfier des pertes incontrôlées, d'autant plus que des maisons sont maintenant implantées au N de la route dangereuse.

5. Prospection à la résurgence de Rosière

En rive gauche de la boucle de l'Ourthe aval Esneux, non loin de la Roche aux Faucons, Dany Martens et Thierry Elias avaient réussi à vidanger un siphon actif très étroit avec un siphon de plastique de 90 mm de diamètre ! A leur demande, j'ai élargi le siphon, permettant de remonter quelques dizaines de mètres de couloir actif et éboulé (fig. 8). Cet accès pouvant se réamorcer à

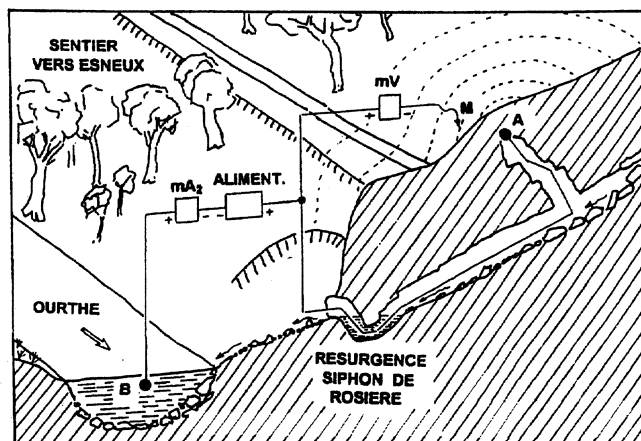


Figure 8 : recherche du potentiel proche de A à Rosière.

tout moment, j'ai implanté l'électrode A au sommet d'une cheminée, l'électrode B étant immergée dans l'Ourthe. Imaginez que l'électrode M est supprimée et la N mobile. Le millivoltmètre étant branché entre A et N mobile, j'ai cherché en surface le minimum de lecture, c'est-à-dire le potentiel le plus proche de A. C'est là que les collègues ont commencé un puits de 2m qui a débouché en A. La précision de localisation était de 0,5m.

6. Bibliographie

Briffoz, A., 1982. Mesures hydrologiques au Trou Bleu, Feuill. Liais. CRSLg, n°17.

Briffoz, A., 1983-1. Le sous-sol de Sprimont sous la loupe, Cah. Spéléo Flash, 150p, F.S.B., Brux.

Briffoz, A., 1983-2. Le sous-sol karstique de Sprimont, Sp. Flash n°137, p 3-13, F.S.B., Brux.

Briffoz, A., juin 95. Prosp.géoph. d'un poss. dolmen de Morville près de Wéris, CRSOA Info n°293.

Briffoz, A., août 95. Essai de prosp. par mes. de l'induction magnét. totale à Wéris, CRSOA Info 296.

Briffoz, A., 9/1995. Prosp. géoph. d'un poss. dolmen de Morville près de Wéris, 7 p.

Briffoz, A., inédit, Relevés journaliers des pluies et débits résurgence lac Bleu et leur corrélation mathématique, 1981-

82, dossier de 100 p, dont relevés publiés en 1981 et 1982 au CRSOA Info.

Chaussier, J.B., 1981. Morer, J., Manuel du Prospecteur Minier, Man./Méth.n°2, Ed. BRGM, Orléans.

Hesse, A., 1966. Prosp. géoph. à faible prof.- Archéologie, Dunod, Paris.

Kpondjo, M., fév 1994. Import. des phén. karst. en cours de valoris. d'un potent. carbonaté (Carr. Chx.), Maîtrise interuniv. en géol. terr. sup., Liège.

Mechler, P., 1982. Les Méthodes de la géophysique, Dunod-Bordas, Paris.

Michel, R., 1971. Le vallon de Sprimont à Chanxhe, mém. Lic. Sc. Géo. ULg.

Pierre Louis, 1992. Utilisation des Méthodes électriques pour la recherche d'eau dans les aquifères discontinus, Mém. Soc. Géol. France, n°16, p.17-23.

Poldini, E. et Breusse, J., 1950. La prosp. électr. du sous-sol à faible prof. Gén. Civ-Hydro.-Mines, Les méth. de la Cie. Gén. de Géophysique. Paris.

Renard, V., Contr. à l'ét. du fonct. karst. du vallon de Sprimont-Chanxhe, Mém. Lic. Sc. Géo. Ulg 1984.

Urrutia-Fucugauchi, J., 1992. Reconn. électr. Résist. and self-potent. studies. Morelo State Mexico - Geofisica Internacional, vol 3, p. 341-358.

Le tube à vent de l'abîme de Beaumont à Esneux

Jean GODISSART

Centre de Prospection Liégeois
Rue de Cracovie, 19 - 4030 Grivegnée

Résumé

L'effet de cheminée est la cause la plus importante des déplacements d'air dans les grottes à plusieurs entrées. Nous avons essayé d'étudier la vitesse de l'air en fonction des températures intérieures et extérieures et d'autres particularités des tubes à vent, comme l'hystérésis, la valeur moyenne des échanges d'énergie et les phénomènes météorologiques.

Abstract

The chimney effect is the most important type of air movement in multiple-entrance caves. The speed of air movement as a function of temperature inside and outside the cave is surveyed and some peculiarities such as hysteresis, average rates of thermodynamical energy and meteorological phenomenas are studied.

Mots clefs

Belgique - Grotte de Beaumont - Tube à vent - Météorologie souterraine.

Keywords

Belgium - Cave of Beaumont - Chimney effect - Cave meteorology.

1. Introduction

Les souffleurs sont le fil d'Ariane de tous ceux dont le violon d'Ingres consiste à fouiller les dessous de la planète. Dans la majorité des cas, ils résultent des différences de densité de l'air dans les conduits souterrains et c'est lorsque ceux-ci sont en communication avec l'atmosphère libre à des altitudes différentes que l'on observe les échanges les plus violents.

Ainsi, dans un tube à vent, la pression motrice responsable de la circulation d'air à l'intérieur du massif, dépend de la différence entre les poids des colonnes d'air interne et externe, c'est-à-dire de la dénivelée entre les orifices de la caverne, des températures respectives de l'air et, dans une moindre mesure, de sa composition. En effet, on sait que, dans les mêmes condi-

tions de température et de pression, un air froid est plus lourd qu'un air chaud et qu'un air saturé en vapeur d'eau est plus léger qu'un air sec.

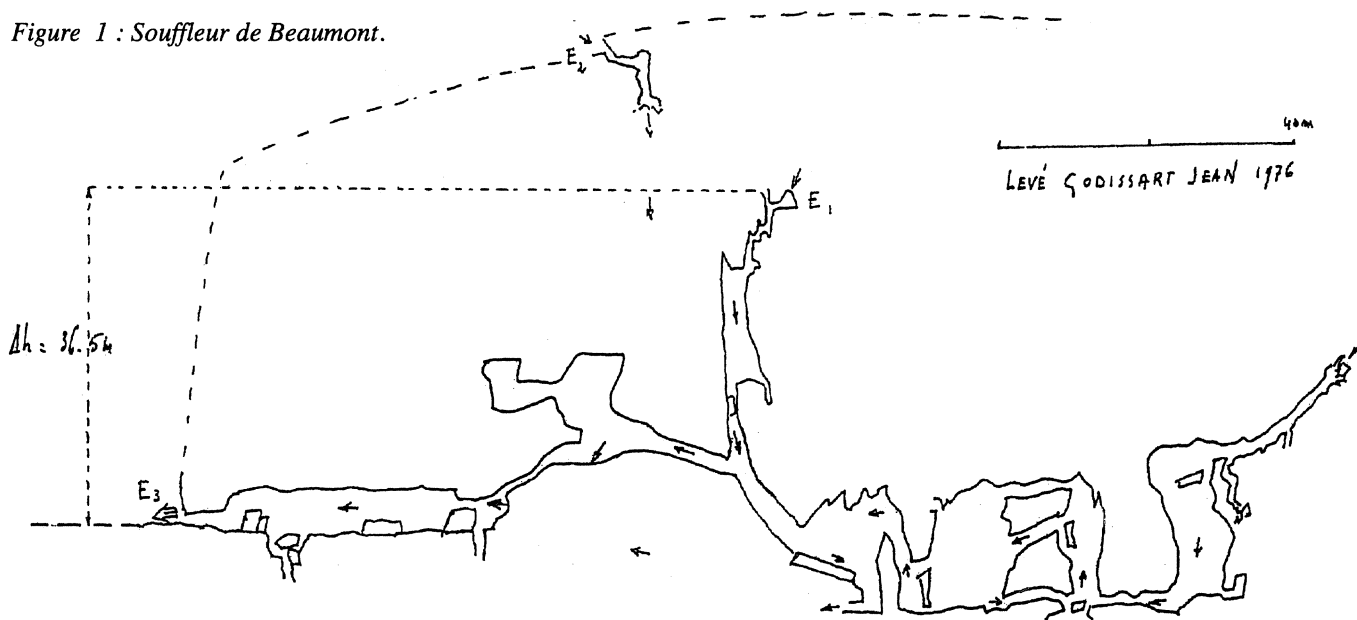
2. Dynamique des écoulements

La coupe de la fig. 1 illustre le fonctionnement du tube à vent en période chaude.

Celui de Beaumont, à l'instar de beaucoup de ses congénères, possède de multiples prises d'air au niveau du plateau et un seul exutoire connu.

Ceci explique sans doute le bilan largement déficitaire des débits mesurés en E1, E2 et E3, soit respectivement 147, 118 et 650 litres/secondes, la différence étant sans doute apportée par les multiples fissures de la masse calcaire.

Figure 1 : Souffleur de Beaumont.



La courbe de la figure 2 représente le fonctionnement dynamique du tube à vent considéré comme une boîte noire, soit la relation $v = f(T^\circ)$: vitesse de l'air à l'orifice E 3 en fonction de la température extérieure.

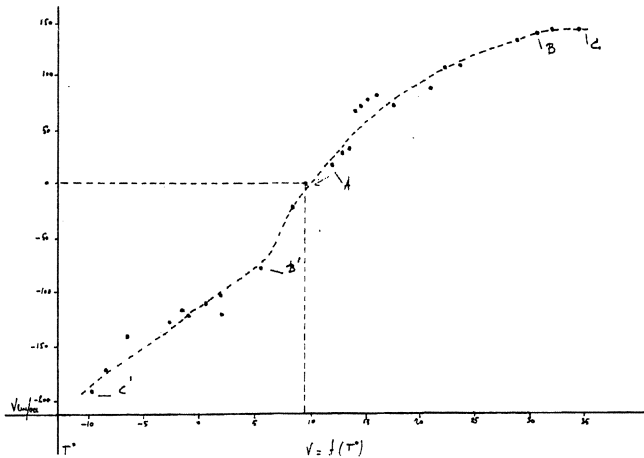


Figure 2 : Courbe dynamique du tube à vent.

Cette fonction n'est ni linéaire, ni univoque, ni symétrique par rapport à l'équilibre correspondant à $v = 0$ pour $T = 9^\circ\text{C}$.

Cette courbe peut se décomposer en plusieurs sections telles que AB et BC, où la vitesse décroît avec l'accroissement de température jusqu'au palier BC où elle demeure constante, à la vitesse maximum de 150 cm/s .

Dans la zone des vitesses négatives (orifice inférieur absorbant), on observe également deux sections AB' et B'C' à pente plus forte et sans palier puisque, pour la température symétrique de 28° , soit -10° , la courbe conserve la même pente avec $v = 200\text{ cm/s}$.

L'explication de cette réponse non linéaire des vitesses pourrait être recherchée à partir des pertes de charge dans l'écoulement du fluide à travers les multiples diaphragmes du parcours souterrain. Ce n'est certes pas un facteur à négliger; cependant, d'autres paramètres sont susceptibles d'influencer les vitesses car on ne voit pas comment les forces de frottement dépendraient du sens de l'écoulement.

Les deux sondages verticaux dans l'atmosphère de la grotte avec des températures extérieures de $10,5^\circ\text{C}$ et 18°C , montrent comment évolue la pression motrice en régime dynamique (fig.3).

Les calculs simplifiés de celle-ci pour les deux cas de figure impliquant la température, la densité de l'air et la hauteur de la colonne d'air (Trombe, 1952), conduisent respectivement à $2,4\text{ Pa}$ pour le sondage A et $12,7\text{ Pa}$ pour le sondage B représenté par son équation empirique en figure 2.

On peut ainsi juger du déficit de la pression motrice qui, à 18°C , est déjà réduite de 17% par rapport à sa valeur théorique calculée en considérant que la colonne d'air interne possède une température homogène de 9°C .

Ces valeurs peuvent rendre compte des valeurs décroissantes et ensuite constantes de la vitesse, aux alentours de 30°C , puisque chaque augmentation de la température extérieure diminue la pression de la colonne d'air interne.

Par ailleurs, en régime hivernal, le courant s'inversant, l'air froid parcourt la section horizontale de la grotte sur quelque 80 mètres, se réchauffe partiellement et descend par gravité dans les pertuis en-dessous de la cote de 36 mètres, préservant ainsi du refroidissement la colonne d'air interne qui se maintient entre 8 et 10°C en plein hiver.

Dans ces évaluations, nous n'avons pas tenu compte de la teneur en vapeur d'eau qui, dans ce cas, est un facteur négligeable dans le calcul des masses volumiques.

3. Fonctionnement diurnes et hystérésis

Sur le diagramme (fig.4), figurent les valeurs de la température externe et les vitesses de l'air à l'orifice inférieur en fonction du temps au cours d'une journée, montrant des vitesses négatives (air absorbé), un passage à l'équilibre aux environs de 9°C , ensuite, après un pic aigu des températures, un maximum des vitesses, en retard de plusieurs heures sur le maximum des températures.

Remarquons au passage qu'à une même température peuvent correspondre différentes vitesses suivant l'état thermique du gouffre, ce qui peut expliquer la dispersion des valeurs sur la courbe de la fig. 2, les mesures étant toujours effectuées par vent faible ou nul.

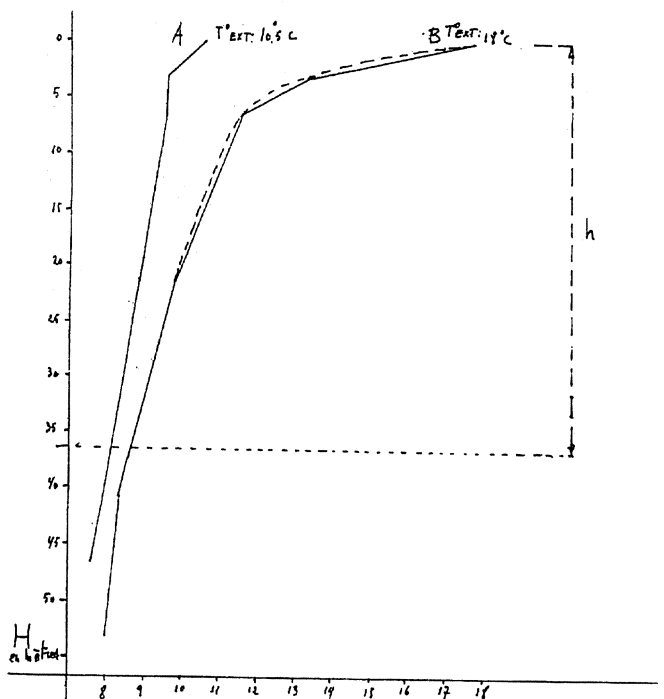


Figure 3 : Sondages verticaux.

Cette hystérésis n'est pas analogue à un véritable déphasage puisque, dans le cas présent, les courbes se croisent aux points d'équilibre.

Etant donné le transfert rapide de l'air dans le tube à vent (de l'ordre de 10 minutes à 20°C), il est difficile d'admettre que l'inertie mécanique joue un rôle quelconque.

L'hypothèse suivante mérite cependant d'être avancée : le long de la branche ascendante de la courbe des températures, les vitesses de l'air rejeté par le système croissent également mais avec une pente de plus en plus réduite, ce qui traduit, comme on l'a vu, la dégradation de la pression motrice due à l'injection d'air

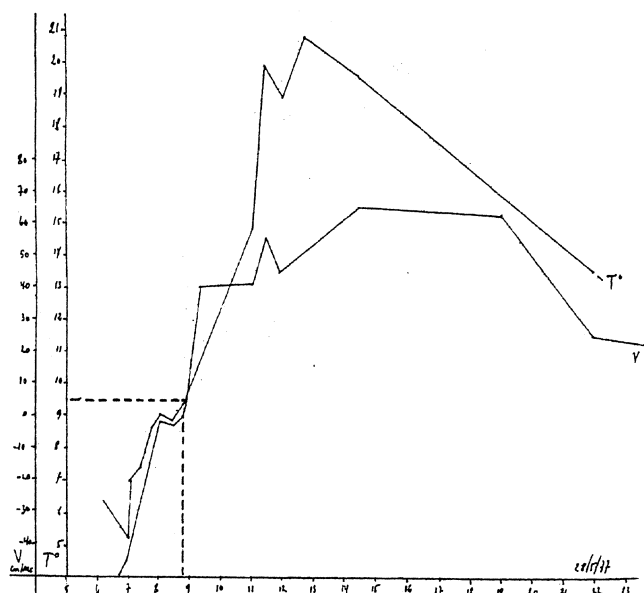


Figure 4 : Températures extérieures et vitesse de l'air en fonction du temps.

chaud dans l'atmosphère interne. Lorsque la température externe chute, de l'air plus froid pénètre dans la cavité et renforce la pression motrice jusqu'au moment où les températures externes devenant de plus en plus faibles, la vitesse décroît enfin après un maximum décalé en retard sur le pic de températures.

4. Les échanges d'énergie

En période chaude, avec une température moyenne diurne de 30 °C et 70% d'humidité relative, le débit moyen de la ventilation étant de 1 m³/s et la température de l'air rejeté de 7°C, l'énergie thermique et la chaleur latente de condensation fournissent au système souterrain 7,0Kcal/s, la masse d'eau produite étant de 5,5cc/s.

En hiver, pour une température symétrique de - 2°C, 70 % d'humidité relative et un débit de 1,3m³/s, l'énergie extraite du système est de 8,9 Kcal/sec et la quantité d'eau rejetée par les orifices supérieurs est de 8,35cc/s. Ces valeurs approximatives semblent indiquer que la résultante des phénomènes thermodynamiques dans le système ne s'équilibrent pas.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que les échanges d'énergie affectent principalement les zones voisines des orifices.

Ainsi, en hiver, la galerie subhorizontale correspondant à l'orifice inférieur est parcourue par le flux d'air

froid de température toujours inférieure à 9°C. On y observe à 20 mètres de l'entrée des températures de l'air et de la roche inférieures à 5°C à la sortie de l'hiver.

Si le stockage de l'énergie dans le calcaire n'est pas uniforme, il n'est pas constant non plus, comme le montre le diagramme (fig.5) des températures de l'air rejeté en période chaude au cours de différents cycles annuels. On peut constater ici qu'elles augmentent de mars à septembre et tendent à rejoindre les valeurs rencontrées au sein de la grotte, soit 9°C, suite à l'extinction de l'onde thermique hivernale stockée dans les parois de la zone inférieure de la cavité.

5. Les hydrométéores

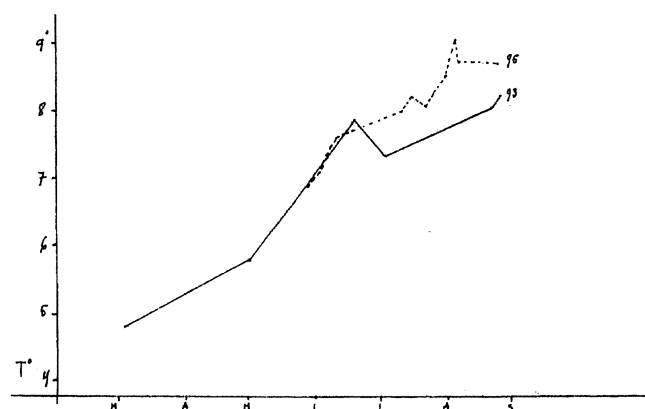


Figure 5 : Température de l'air rejeté en période chaude.

En hiver, la colonne d'air chaud et saturé qui s'échappe des orifices supérieurs se condense et donne lieu au phénomène du trou fumant dont il existe plusieurs exemples en Belgique, notamment à Furfooz et Comblain-au-Pont. Si la température est inférieure à 0°C, du givre peut se déposer aux alentours des orifices.

C'est là un phénomène assez banal. Ce qui l'est moins, c'est l'inverse: en été, l'air froid et saturé sortant de la bouche inférieure entre brusquement en contact avec l'air chaud extérieur et provoque la formation d'un brouillard de mélange se présentant sous la forme d'une nuée tourbillonnante de plusieurs mètres de long.

Le tableau I résume les conditions favorables à l'apparition du phénomène, à savoir une température supérieure à 25 °C et une forte teneur en vapeur d'eau.

6. Bibliographie

Trombe F., 1952. Traité de spéléologie, Payot, Paris. p. 95-100.

Date	T°E	HR	Pv	T°I	V	Remarques
10.07.95	27,2	83%	19,41	8,2	132	Brouillard de mélange
20.07.95	34,5	44%	14,94	8,15	143	Formation de vapeur à l'orifice
19.07.95	20,6	80%	12,43	8,05	83	Néant
T°E = température de l'air extérieur - HR = humidité relative Pv = vapeur d'eau en g/K° d'air - T°I = température de l'air rejeté V = vitesse de l'air rejeté						

Tableau 1 : Conditions favorables à la formation de brouillard aux entrées inférieures.

Essai de contribution à la cohabitation des chauves-souris et des hommes. Sept années d'observations.

Jean-Marie HUBART

Laboratoire de Biologie Souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul

Rue de Petit-Fraineux, 40, 4550 SAINT-SEVERIN

jm.hubart@wanadoo.be

Résumé

Nous avons eu l'occasion d'observer l'hibernation des chauves-souris en différentes conditions de perturbations dans une grotte touristique. Le résultat de sept années d'observations semble montrer qu'aucune relation directe entre le nombre de visiteurs et le nombre de chauves-souris en hibernation ne peut être établie. On remarque toutefois une redistribution significative des effectifs dans les zones d'hibernation.

Abstract

We had an opportunity to compare observations on hibernating bats in different conditions of perturbation in a touristic cave. Results of seven years of observations seem to demonstrate that no direct relationship exists between the number of visitors and the number of quietly hibernating bats. Nevertheless, significant changes in location of hibernation places have been observed.

Mots clefs

Belgique - Liège - Grotte de Ramioul - Tourisme - Chiroptères.

Keywords

Belgium - Liège - Cave of Ramioul - Tourism - Bats.

1. Introduction

En 1991, suite à l'aboutissement d'un projet FEDER, un accroissement important du nombre de visites touristiques hivernales de la grotte de Ramioul était prévu. Cela impliquait le réaménagement complet de l'infrastructure touristique de la grotte. Notre premier objectif était d'orienter utilement ces travaux pour essayer d'assurer la quiétude de l'hibernation des Chiroptères (Hubart, 1991). Le second était de mesurer l'impact sur les populations hibernantes de l'accroissement du nombre de visiteurs.

2. Méthode de travail

La Grotte de Ramioul (Flémalle, Belgique) traverse l'entièreté des bancs de calcaires Viséens du Sud au Nord. Le développement total de toutes les galeries avoisine les 700 mètres.

Nos observations ont porté exclusivement sur la partie du réseau visitée par les touristes, soit quelque 150 mètres de galeries. Celles-ci ont été subdivisées en 8 zones en fonction de leurs caractéristiques écologiques (zones d'entrées, salles...), voir fig. 1 (Hubart, 1991, 1993).

Nos observations sont régulières au cours des hivers, mais nous n'avons pris en considération pour cette étude que les mois de janvier, février et mars, période au cours de laquelle les Chiroptères en hibernation sont les plus fréquents.

Dans le souci de ne pas déranger l'hibernation, notamment par des manipulations intempestives, nous n'avons pas cherché à effectuer de déterminations systématiques. Notre étude porte donc sur les populations globales et non spécifiques. Nous disposons toutefois des données systématiques de René Gilson, dont nous reparlerons par la suite, ainsi que de quelques déterminations personnelles.

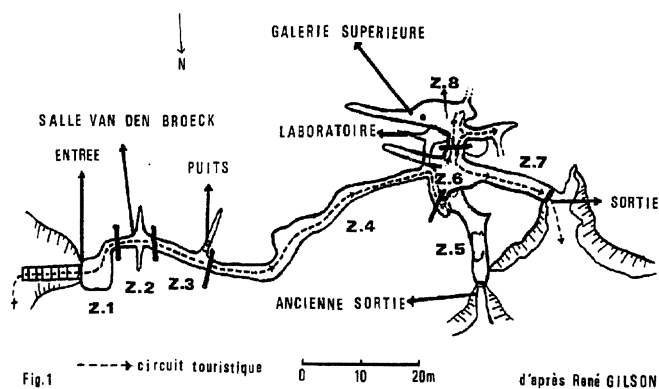


Figure 1 : Grotte de Ramioul, plan des réseaux moyen et supérieur touristiques

Nous devons préciser qu'une faible marge d'erreur peut exister dans nos relevés : certains Chiroptères hibernants sont facilement visibles, mais beaucoup sont profondément enfoncés dans les plus invraisemblables fissures, parfois en groupes serrés, et il est raisonnable de penser que certains ont échappé à nos investigations.

Certains ont pu s'étonner de l'intérêt que nous portons depuis des années à une population d'une vingtaine de Chauves-souris, alors qu'elles se comptent par milliers dans des carrières souterraines. Rappelons que notre objectif est différent : il s'agit pour nous d'évaluer l'interaction entre les Chiroptères en hibernation et les visites touristiques. Nous avons donc délibérément choisi l'option de recenser, en moyenne 5 fois par an, dans 150 mètres de galeries, plutôt qu'une fois par an dans 15.000 mètres. Les objectifs sont donc bien différents.

La période d'observation s'étendant de 1991 à 1997 présentait les caractéristiques suivantes :

- 1991 et 1992 : la fréquentation touristique de janvier à mars était moyenne, respectivement 350 et 1250 visiteurs répartis sur 17 et 50 visites. Nos recensements ont été nombreux, respectivement 9 et 10, car ils devaient nous permettre d'étudier au mieux les précautions à prendre lors du renouvellement de l'infrastructure de la Grotte.

- 1993 et 1994: la Grotte ne fut l'objet d'aucune visite touristique au cours de ces deux hivers, bien qu'aucun travaux ne furent entrepris de janvier à mars, et nous n'avons donc effectué que de rares recensements.

- 1995, 1996 et 1997: les visites touristiques furent nombreuses et sont estimées à 7300 visiteurs répartis sur en-

Année	Janvier	Nombre	Février	Nombre	Mars	Nombre
1991	22-janv	11	7-févr	15	7-mars	19
	31-janv	14	16-févr	13	14-mars	15
			23-févr	16	16-mars	13
					28-mars	13
	Moyenne	12,5		14,6		15
1992	2-janv	9	1-févr	11	21-mars	6
	12-janv	7	8-févr	13	28-mars	7
	25-janv	9	15-févr	12		
			22-févr	7		
			29-févr	10		
	Moyenne	8,3		10,6		6,5
1993	14-janv	8	13-févr	14	13-mars	14
Moyenne		8		14		14
1994	31-janv	13	13-févr	13	6-mars	12
					17-mars	9
Moyenne		13		13		10,5
1995	13-janv	13	4-févr	12	12-mars	13
Moyenne		13		12		13
1996	13-janv	12	8-févr	15	7-mars	14
					21-mars	18
Moyenne		12		15		16
1997	15-janv	8	15-févr	14	12-mars	17
	22-janv	12	27-févr	13	27-mars	19
Moyenne		10		13,5		18
1991/1997	Total	116		178		189
	Moyenne	10,5		12,7		13,5
	Observations	11		14		14

Tableau 1 : Observations chiroptérologiques à la grotte de Ramioul de 1991 à 1997.

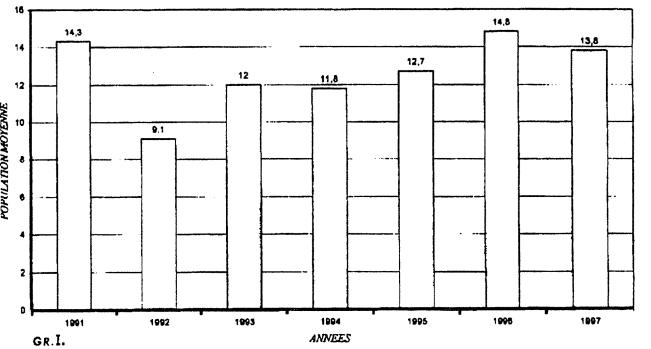
vrons 365 visites. Le maximum fut atteint en 1996 avec 3000 visiteurs répartis sur 150 visites entre le 1 janvier et le 31 mars. Il y eut entre 3 et 6 recensements annuels.

3. Mesures prises pour l'aménagement de la Grotte en fonction des observations de 1991 et 1992

- Etablissement d'un système d'éclairage fractionné, seule la zone où se trouvent les visiteurs étant éclairée, les lampes étant allumées à leur arrivée et s'éteignant après leur passage. Par ce système, quel que soit le nombre de visites, les neuf dixièmes de la Grotte sont toujours dans l'obscurité. Seul un éclairage de sécurité de très faible intensité est maintenu çà et là au niveau du sol.

- Pour ce qui concerne les zones d'entrée, les plus fréquentées par les chiroptères, donc les plus sensibles, la zone 1 n'est pas éclairée, la zone 7 l'est très faiblement et la zone 5, qui n'est pas accessible au public ne dispose pas d'éclairage. Elle nous sert en quelque sorte de zone de comparaison.

- Dans la mesure du possible, les structures d'accès ont été établies aussi éloignées que possible des parois (par exemple, l'escalier en colimaçon au centre de la zone 6 qui a remplacé les anciennes rampes longeant les parois).



Graphique 1 : Grotte de Ramioul: évolution des populations de 1991-1997.

- Maintien et/ou aménagement de petites voies d'accès pour les Chauves-souris dans les murs en pierres calcaire entourant les portes d'entrée et de sortie (zones 1, 5, 7), ainsi que l'établissement d'une chiroptière dans la porte de la zone 1.

- Multiples recommandations et informations aux animateurs.

4. Résultat des observations et discussion

Le tableau 1 reprend l'ensemble de nos observations.

Le tableau 2 montre, année par année et zone par zone, le résultat de nos 39 recensements pour la période de janvier à mars de 1991 à 1997, au cours de laquelle 483 Chauves-souris ont été observées. Nous y signalons des moyennes et des pourcentages, ainsi que, pour chaque année, le nombre maximum de Chauves-souris observées au cours d'une visite de la Grotte.

Le graphique 1 montre les moyennes annuelles observées et peut être comparé au graphique 2 représentant le nombre estimé de visiteurs durant la période étudiée.

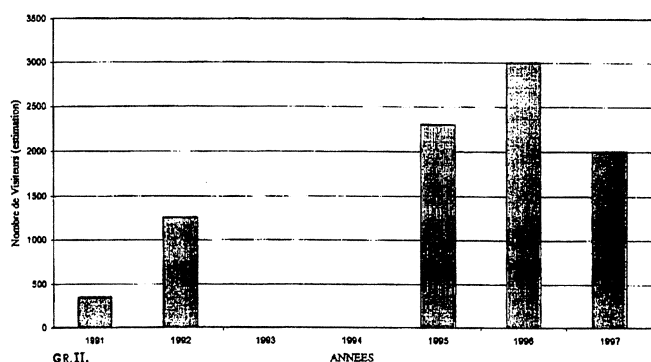
Total / Année	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	TOTAL	Nbre Obs.	Maximum
1991	52		2	6	28	8	24	9	129	9	19
Moyenne	5,8		0,2	0,7	3,1	0,9	2,7	1	14,3		
1992	49	1		2	11	6	22		91	10	13
Moyenne	4,9	0,1		0,2	1,1	0,6	2,2		9,1		
1993	21	2		2	2	1	7	1	36	3	14
Moyenne	7	0,7		0,7	0,7	0,3	2,3	0,3	12		
1994	30	1		1	4	1	9		47	4	13
Moyenne	7,5	0,3		0,3	1	0,3	2,3		11,8		
1995	25			1	7	1	4		38	3	13
Moyenne	8,3			0,3	2,3	0,3	1,3		12,7		
1996	37			3	10	1	7	1	59	4	18
Moyenne	9,3			0,8	2,5	0,3	1,8	0,3	14,8		
1997	54	5	3	4	5	3	8	1	83	6	19
Moyenne	9	0,8	0,5	0,7	0,8	0,5	1,3	0,2	13,8		
Total 1991/1997	268	9	5	19	67	21	81	12	483		
Nombre de visites	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
Moyenne/Visite	6,87	0,23	0,13	0,48	1,72	0,54	2,07	0,3	12,38		
Pourcentage	56	2	1	4	14	4	17	2			

Tableau 2 : Observations chiroptérologiques à la grotte de Ramioul de 1991 à 1997.

Le graphique 3 montre la répartition des effectifs par zone. On y remarque que les zones d'entrée sont nettement les plus fréquentées, surtout la zone I.

En reprenant les observations année par année, pour les zones d'entrée, on constate que l'on assiste à un déplacement des populations vers la zone I (graphique 4). Ce phénomène tend à s'accroître, au fil des années puisque, à l'occasion d'un recensement effectué le 29 janvier 1998 (donc non repris dans cette étude), sur les 20 spécimens observés, 16 étaient localisés dans la zone 1.

Le cas de la zone 5 est assez curieux. Au départ bien fréquentée, on s'étonne de voir qu'elle est depuis 1993 occupée très irrégulièrement par les Chiroptères. C'est d'autant plus singulier que c'est la seule zone de la Grotte qui n'a subi aucun travaux, n'est jamais éclairée et n'est pas parcourue par les touristes. Peut-être son microclimat subit-il une influence indirecte induite par les ouvertures plus fréquentes des portes d'entrée et de sortie ?



Graphique 2 : Grotte de Ramioul (1991-1997): estimation du nombre de visiteurs.

On constate que la densité des populations hibernantes s'accroît régulièrement au cours de l'hiver pour atteindre son maximum en mars. Les moyennes observées de 1991 à 1997 sont de 10,5 en janvier, 12,7 en février et 13,5 en mars. On remarquera dans le Tableau II (colonne «maximum observé au cours d'une visite») que, si l'on excepte les années 1992 et 1994, les maxima ont été observés en mars. On peut formuler l'hypothèse que cet accroissement du nombre de Chiroptères observés en fin d'hiver est dû au déplacement des populations hibernant dans les (vastes) zones non recensées de la Grotte, populations qui, à l'approche du printemps, tendent à se rapprocher des zones de sortie.

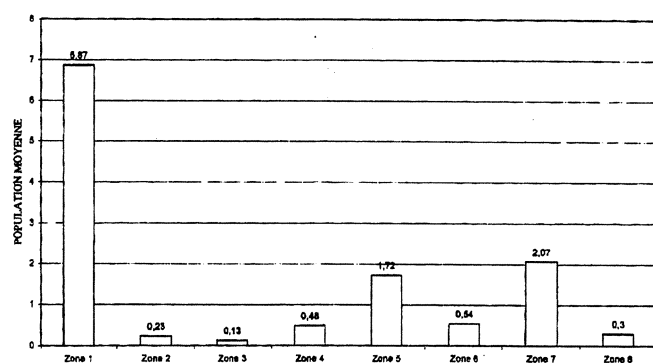
D'après René Gilson (communication personnelle), les espèces suivantes ont été observées à Ramioul depuis 1968 :

Myotis emarginatus, *M. dasycneme*, *M. mystacinus*, *M. nattereri*, *M. daubentoni*, *Plecotus auritus*. Précisons que tous nos recensements n'ont pas été suivis de déterminations. Sans entrer dans le détail, d'après les observations de René Gilson, il semble que l'on peut dégager les tendances suivantes :

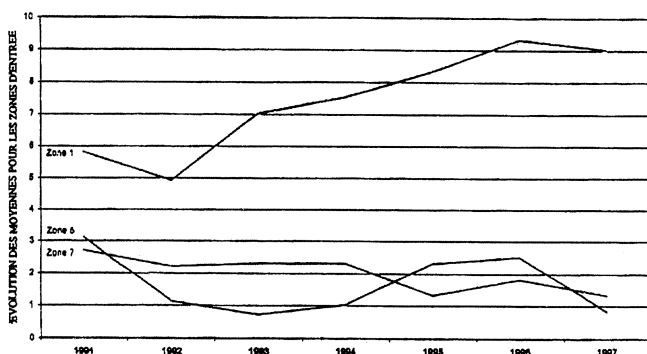
M. mystacinus, *dasycneme* et *daubentoni* sont les espèces les plus régulièrement présentes. *M. mystacinus* est en forte expansion, passant de 19 à près de 60% des populations. *M. dasycneme* reste stable, environ 24% des observations, et *M. daubentoni* est en légère baisse. *M. nattereri* est en assez forte diminution et *M. emarginatus* n'a été observé qu'une seule fois depuis 1968. Enfin, *Plecotus auritus*, qui n'avait plus été observé depuis les années 70 a réapparu régulièrement ces dernières années. Cette évolution des espèces porte donc sur 30 années d'observations, mais seuls les cas de *M. mystacinus* et *Plecotus auritus* sont assez caractéristiques de la période 1991-1997.

La chiroptière ouverte dans la porte de la zone 1 n'a eu aucun effet significatif sur les populations. Aucune des espèces entrant en volant (*Rhinolophus*, *M. myotis*..) n'a été recensée. Par contre, on peut craindre que cette ouverture permanente en hiver, ajoutée à l'ouverture fréquente des portes d'entrée et de sortie des visiteurs, ait un effet négatif sur l'hygrométrie de la Grotte et, par tant, sur la faune des Arthropodes de la Grotte.

Elle ne sera plus ouverte à partir de 1998.



Graphique 3: Grotte de Ramioul (1991-1997): population moyenne par zone (J-M. Hubart).



Graphique 4 : Grotte de Ramioul (1991-1997): évolution des moyennes pour les zones d'entrée (J-M. Hubart).

5. Conclusions

L'étude de nos recensements semble montrer que le nombre de Chiroptères en hibernation reste assez stable quel que soit le nombre de visiteurs. Sans préjuger de l'avenir, on peut donc remarquer, dans le cas de Ramioul tout au moins, une certaine inélasticité du nombre de Chauves-souris par rapport au nombre de visiteurs. Les aménagements apportés à l'infrastructure touristique, surtout l'éclairage, n'y sont sans doute pas étrangers.

Par ailleurs, si le nombre global de Chauves-souris reste stable, il existe un incontestable redéploiement des effectifs à l'intérieur de la partie touristique de la Grotte, la majorité des populations hibernant à présent dans la zone 1.

On constate une certaine évolution dans la représentation des différentes espèces, mais il ne nous est pas possible, à ce stade, d'établir un lien formel avec la fréquentation touristique.

Enfin, le nombre de Chauves-souris s'accroît régulièrement au cours de la période observée, pour atteindre son maximum en mars.

Addenda

Au moment de mettre sous presse, les résultats de l'hiver 1998 nous sont connus. Cent Chauves-souris ont été observées au cours de 6 visites de contrôle; la répartition est la suivante:

Janvier	Février	Mars
15.01.98 : 13	16.02.98 : 18	12.03.98 : 17
29.01.98 : 20	26.02.98 : 20	23.03.98 : 12
Moyenne : 16,5	Moyenne : 19	Moyenne : 14,5

La moyenne annuelle est de 16,6, ce qui dépasse nettement celles de 1991 (14,3) et de 1996 (14,8).

Le maximum de Chiroptères observés en une visite a été de 20 spécimens les 29 janvier et 26 février, nombre encore jamais atteint.

Le 26 février, notre ami René Gilson a bien voulu nous accompagner pour tenter de déterminer les espèces à distance et sans manipulations (ce dont nous ne sommes que très médiocrement capable). Ses résultats sont les suivants :

Zone 1 (entrée) : 4 *M. dasycneme*, 4 *M. daubentoni*, 6 *M. mystacinus*, 1 *M. sp.*

Zone 2: 1 *M. sp.* (en vol)

Zone 5: 1 *M. sp.*

Zone 6: 1 *M. daubentoni*, 1 *M. sp.*

Zone 7: 1 *M. mystacinus*

De janvier à mars 1998, le nombre de visiteurs a été estimé à 5000, répartis sur quelque 200 visites. Durant cette période, des travaux discrets et peu perturbants, mais quasi continus, ont été effectués dans la Grotte.

Quelles conclusions tirer de ces récentes données? Tout d'abord qu'elles confirment, en les amplifiant dans certains cas, les tendances observées de 1991 à 1997. La situation peut être considérée comme positive.

Pourtant, paradoxalement, elle suscite chez nous quelque inquiétude pour l'avenir. Certes, tout aussi paradoxalement, le nombre de Chauves-souris en hibernation semble croître avec le nombre de visiteurs. Mais la Grotte de Ramioul pourra-t-elle supporter longtemps et sans dommages la pression de 5000 visiteurs répartis en 200 visites sur 3 mois? N'approche-t-on pas d'un point de rupture qui sera dramatiquement irréversible? Cette crainte qui est la nôtre est malheureusement empirique; nous ne pouvons l'étayer par aucune donnée totalement fiable et significative, car, faute de moyens et de matériel, l'indispensable «suivi» physique de la Grotte est tout à fait artisanal et c'est encore un euphémisme.

Nous terminerons donc cette étude de 8 années par les remarques suivantes:

- Il nous est agréable de féliciter le Conseil d'Administration du Préhistosite de Ramioul pour sa gestion touristique actuelle de la Grotte qui, de l'avis des Chauves-souris, semble excellente.

- Il est néanmoins de notre devoir d'attirer son attention sur le fait que la Grotte de Ramioul est un milieu remarquable pour son intérêt pédagogique exceptionnel, mais aussi un système écologique fragile. Il faut se garder d'aller trop loin.

- Pour tenter de déterminer où se situe ce «trop loin» avant d'y être arrivé, il nous paraît impératif de doter la

Grotte d'un matériel de contrôle (plus performant que notre personne) permettant de recueillir des données fiables sur, au moins, l'évolution des températures, de l'hygrométrie, des mouvements de l'air. En effet, des variations de ces facteurs primordiaux à l'équilibre d'une grotte sont nécessairement induites par le passage des milliers de visiteurs, par les centaines d'ouvertures et de fermetures des portes, par l'éclairage... Les données enregistrées devraient être soumises à l'analyse de spécialistes.

Nous devons être capable de prévoir, surtout d'anticiper.

Si le merveilleux jouet venait un jour à se briser pour avoir trop servi ou avoir été mal utilisé, ce serait une perte irréversible.

C'est malheureusement une possibilité.

Remerciements

Nous tenons à remercier notre ami René Gilson pour toutes les informations qu'il a bien voulu nous fournir. Un cordial merci à Fernand Collin, Directeur du Préhistosite, pour avoir bien voulu prendre en considération toutes nos recommandations en faveur de la protection de la Grotte et de sa faune. Enfin, notre reconnaissance va à J-N. Anslijn et à D. Troupin pour leur aide indispensable à l'informatisation des données.

6. Bibliographie

Hubart, J.-M., 1991. Influence des visites touristiques sur l'hibernation des Chiroptères. Essai de quantification des perturbations et de leur impact sur les populations hibernantes. Bull. Chercheurs de la Wallonie, T. XXXI, 103-117.

Hubart, J.-M., 1993. Etude sur l'hibernation des Chiroptères dans la Grotte de Ramioul. Union Belge de Spéléologie, Regards (bull. de l'UBS) 14, 2-12.

Journée du samedi 21 novembre 1998

(Les présentations **en gras** sont publiées dans les présents actes)

Conférence :

- Spéléologie et développement, un projet dans un karst montagneux du Vietnam, Jan MASSCHELEIN, Katholieke Universiteit Leuven et Spéléo Club Continent 7.

Communications :

- **Recherches dans l'abîme de Comblain-au-Pont.**
Pol XHAARD, Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont.
- **Le double système karstique de l'Isbelle à Hotton.**
Richard GREBEUDE, Spéléo Club de Belgique.
- **Les cristallisations du Réseau Lachambre, Pyrénées Orientales (France).**
Claude MASSART, Groupe de Recherche Spéléologique de Comblain-au-Pont.
- **Enigme hydrogéologique à Plainevaux, Neupré.**
José SCHOONBROODT, Groupe de Recherche Spéléologique de Comblain-au-Pont.
- **Aperçu karstogénétique de la grotte Sainte-Reine à Pierre-la-Treiche, Lorraine (France).**
Benoît LOSSON, Centre d'étude géographique de l'Université de Metz.
- Coupe sédimentaire de la nouvelle galerie de la grotte de Rochefort.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.
- Le paléokarst fossilifère de Orosei (Sardaigne).
Jean-Marie CORDY et Muriel TURMES, Université de Liège.
- **Les cavernicoles et l'argile.**
Jean-Marie HUBART, Laboratoire de biologie souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul.
- **Découvertes récentes sur l'hibernation de chiroptères.**
Thierry KERVYN, Université de Liège.
- Aménagement du territoire et phénomène karstiques en région wallonne.
Raymond MICHEL, Direction Générale de l'aménagement du territoire en Région Wallonne.
- Initiation à l'environnement, l'expérience de Comblain-au-Pont.
Nicolas KLINGER, Centre local d'Initiation à l'Environnement de Comblain-au-Pont.
- **Apport des tracés dans l'établissement des zones de surveillance des captages karstiques.**
Georges MICHEL, Commission de Protection des Sites Spéléologiques.
- **Les vitesses d'érosion dans les résurgences chimiquement vraies.**
Jean GODISSART, Union Belge de Spéléologie.
- **Les variations du radon dans les galeries de drainage du bassin supérieur de la Société Electrique de l'Our, Vianden (Grand Duché de Luxembourg).**
Francis MASSEN, Laboratoire de physique, lycée classique de Diekirch.
- A la recherche du séisme perdu dans la grotte de Hotton. Le projet européen Paléosis.
Serge DELABY, Faculté Polytechnique de Mons.

Posters :

- Fuentes 98. Première expédition spéléologique cubano-belge d'exploration.
R.C.A.E.
- Sedimentary recording and dating of sismo-tectonic events by the speleothems.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.
Dominique GENTY, Laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique. Université de Paris-Sud.
- L'abîme grotte de Comblain-au-Pont.
Pol XHAARD, Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont.
- Grotte de Collemboles et trou du Lac.
José SCHOONBROODT, Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont.
- Méthode d'élargissement des fissures par cartouches Hilti 6.8/11 M.
José SCHOONBROODT, Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont.
- Carte des phénomènes karstiques du vallon de Beauregard.
José SCHOONBROODT, Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont.
- **Puits soufflard et calcul des vides dans un karst couvert,**
l'exemple du sondage de Ramegnies-Chin, Bassin de Tournai.
Francis MASSEN, Michiel DUSAR, Walter LOY et Noël VANDENBERGHE.
- Phénomènes karstiques en roches non carbonatées au Cameroun méridional.
Luc WILLEMS, André POUCKET, Jean-Paul VICAT et Philippe COMPERE.
- Cave and cave-like habitats of indo-australian swiftless (Aves : apodidae) with special reference to Java (Indonesia).
Wietske VAN DEN BERGE, Leiden University (Nederland).

Excursion (dimanche 22 novembre) :

- **La grotte «La Merveilleuse» à Dinant,**
Camille EK, Jean GODISSART, Claire GOSSELIN et Roger VANDENVINNE.

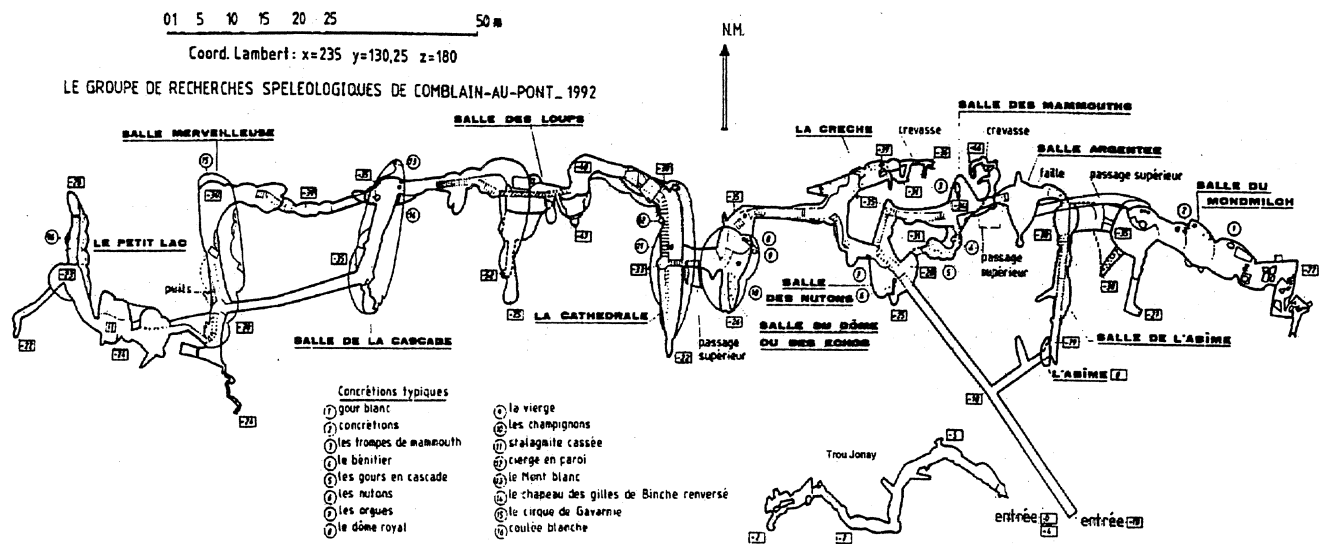


Figure 2 : plan de la grotte de Comblain-au-Pont

La même année, les mêmes spéléos du S.C. Les Calcites entreprenaient une fouille derrière la maison se trouvant face à l'étang-résurgence de la rue du Moulin. Rapidement, le trou creusé en pleine roche se trouva à un niveau inférieur à celui du bassin, ils étaient les pieds dans l'eau et constataient que l'eau n'arrivait pas via un conduit caractérisé.

Ils entreprirent une désobstruction au fond de la salle des Loups, qui était à l'époque, le point le plus profond de la grotte : -52 mètres. Elle n'aboutit à rien et fut abandonnée.

Les mêmes spéléos des Calcites entreprirent un deuxième chantier de désobstruction à l'intérieur de l'abîme-grotte : dans la salle des Mammouths, dans la région de l'abîme. Ils descendirent jusqu'à la profondeur de 9 mètres et n'allèrent pas plus loin.

Un troisième endroit dans la grotte a fait l'objet de recherche : l'Appendice, en face du Petit Lac, à l'extrême amont de la grotte. C'est Mr. Bry, propriétaire et premier exploitant de la grotte, et les carriers qui l'aidaient, qui ont désobstrué la galerie sur plusieurs mètres, en 1925 et les années qui suivirent.

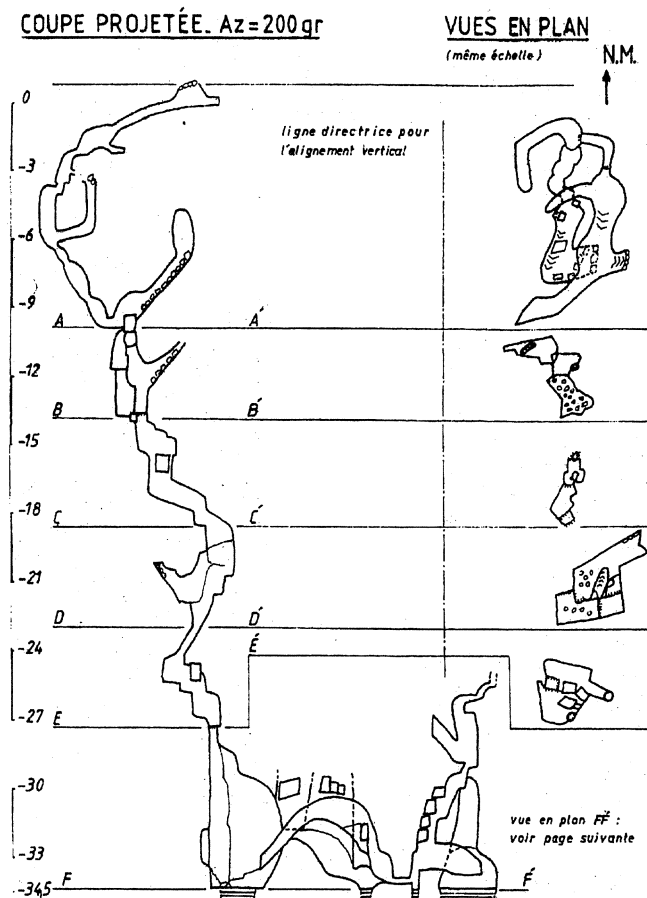


Figure 4 : le chantier du GRSC dans l'abîme-grotte

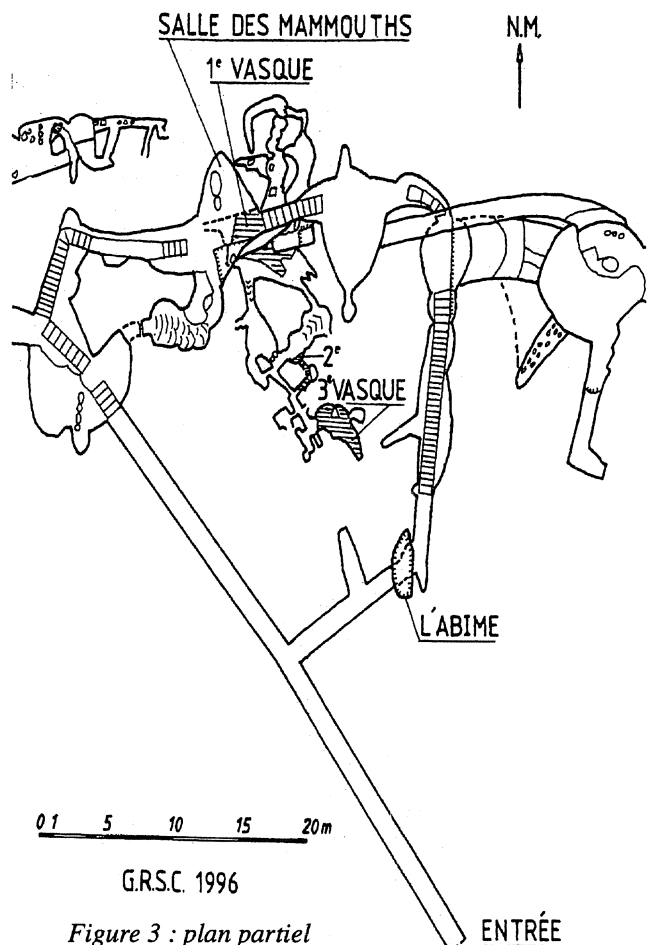


Figure 3 : plan partiel

En 1991, le G.R.S.C. (groupe de recherches spéléologiques de Comblain-au-Pont) reprenait l'étude de la grotte. Un nouveau plan, plus précis et surtout plus exact que le précédent, ainsi que les résultats de l'étude, étaient publiés en 1992 (fig.4). La même année, nous commençons la suite de la désobstruction entreprise et abandonnée par les Calcites en 1968, au départ de la salle des Mammouths. Nous étions persuadés que le meilleur endroit par où on pouvait espérer rejoindre l'inférieur, était la région de l'abîme.

Le 9 avril 1993, le niveau de base, c-à-d la nappe d'eau, était atteint. A la suite de désobstructions successives dans ce qui n'est qu'un énorme éboulis en éteignoir sous l'abîme, nous avons atteint la profondeur de 34 mètres par rapport au fond de la salle des Mammouths. Le point bas est atteint par un P7 qui correspond au niveau d'une première vasque. Au fond, le cheminement n'est pas long, le développement est essentiellement vertical. De la première vasque, on passe à une deuxième qui n'est qu'un étroit regard sur un appendice de la troisième vasque, puis on passe à la troisième vasque. Au-dessus de cette dernière, on peut remonter entre les blocs sur une hauteur de 9 mètres.

Serge Cuvelier a plongé les deux premières vasques en 1993. Aucune continuation ne fut trouvée au départ de la première mais l'exploration de la deuxième permit au plongeur de nous indiquer la suite à creuser pour accéder à une troisième vasque.

En 1994 et 1995, nous nous sommes battus contre des éboulements successifs, à l'entrée du chantier (au fond de la salle des Mammouths). L'endroit est depuis, consolidé. En 1996, nous avons réalisé le levé topo de notre découverte, et en avons fait la publication. En 1997, Michel Pauwels est venu plonger à son tour la première vasque, à deux reprises, puis la troisième. Aucune suite n'a été entrevue, mais il a détecté un courant d'eau allant du Nord au Sud, dans les deux vasques. Profondeurs atteintes : 10 mètres dans la première vasque, et 5 mètres dans la troisième.

Depuis nous effectuons encore des désobstructions mais à un rythme très lent vu le peu de fil conducteur et la démotivation. Cependant, nous n'abandonnons pas.

Nous n'avons pas encore réalisé un traçage mais nous cherchons la rivière souterraine. D'après les sourciers, elle se trouverait à 37 mètres de la troisième vasque, vers le Sud, c.à.d. dans l'alignement des vasques. L'administration communale de Comblain a commandé un forage à cet endroit.

Le double système karstique de la vallée de l'Isbelle à Hotton

Richard GREBEUDE

Spéléo Club de Belgique

Rue de Meez, 3 - 5500 Bouvignes

richardgrebeude@wanadoo.be

Résumé

Situation, description, et première hypothèse de fonctionnement de deux percées hydrogéologiques parallèles dues à l'Isbelle. Cette petite rivière circule assez brièvement sur les calcaires de la Calestienne avant de se jeter dans l'Ourthe, en rive droite, environ 1.500 mètres en amont du village de Hotton (province de Luxembourg).

Bien qu'intrigant nombre de spéléologues depuis toujours, notamment à cause de l'activité à priori illogique des résurgences, le fonctionnement de ce système de l'Isbelle ne fut pourtant l'objet d'aucune tentative d'explication cohérente jusqu'ici. Une hypothèse de fonctionnement des deux systèmes est proposée, sur la simple base d'observations réalisées ponctuellement pendant 25 ans, sans qu'aucun relevé ou mesure n'aient été faits. Cette première hypothèse devrait donc être confirmée ultérieurement par deux traçages et une série de mesures: de débits, de température, d'analyse des eaux, Ph etc. Les observations ont permis de distinguer trois étapes principales de fonctionnement, au gré du débit et des obturations occasionnelles et temporaires des pertes diffuses, et de comprendre qu'il y avait là véritablement deux réseaux karstiques distincts et parallèles, ce dont il n'avait jamais été question jusqu'ici, tout le monde ayant toujours considéré qu'il n'y avait là qu'une seule percée hydrogéologique, avec des phénomènes hydrauliquement connectés.

Abstract

Situation, description and first hypothesis on the functioning of two parallel underground hydrological systems, related to the Isbelle river. It puzzles cavers since a long time, especially due to the apparently illogical behaviour of both springs. The author proposes a possible hydrological functioning of the Isbelle karstic system based on simple observations done since the last 25 years. The first hypothesis should be tested by complementary temperature, pH, waterflow and other measurements.

Mots clefs

Belgique - Hotton - Hydrogéologie karstique.

Keywords

Belgium - Hotton - Karst hydrogeology.

1. Situation et géographie de la vallée

Pour l'amoureux de la nature, la vallée de l'Isbelle constitue un site de choix, un havre de tranquillité à l'abri de la foule pourtant si nombreuse à proximité. La plus jolie section de l'Isbelle est en aval du hameau de Mélines, seul endroit habité de la vallée, jusqu'à son débouché en rive droite de l'Ourthe, qui est boisée, inhabitée, et sans aucune route sur cette rive. C'est tout au long de ce parcours que l'Isbelle circule en terrain calcaire, elle s'y encaisse rapidement à plus de cinquante mètres sous le plateau. Tout comme la vallée, le plateau est de part et d'autre inhabité, sur une assez grande distance. Il est traversé au Nord par la route nationale Hotton-Erezée, au Sud par la petite route de campagne qui relie le hameau de Werpin à celui de Mélines. La vallée de l'Isbelle au milieu de ce secteur de nature "sauvage" d'une surface de plusieurs centaines d'hectares de bois et de prés, est en fait située sur un tronçon de la Calestienne, et est bien sûr l'objet de divers phénomènes typiques des calcaires.

Venant de Soy, les bancs calcaires de la Calestienne passent au Sud-Sud-Est du centre de la localité de

Hotton, pour franchir l'Ourthe entre le pont de Hotton en aval et la fin du village de Hampteau en amont, et se poursuivre ensuite vers Marche. Dans ces bancs, en rive gauche de l'Ourthe, s'ouvre la très vaste grotte de Hotton, la deuxième plus longue cavité de notre pays, ainsi que divers phénomènes en amont liés au système hydrogéologique de la grotte de Hotton. La vallée de l'Isbelle est située en rive droite de l'Ourthe, dans les mêmes bancs, jusqu'à hauteur de Mélines. Les bancs calcaires s'incurvent ensuite en direction de Ny et Soy.

2. La vallée de l'Isbelle

Le ruisseau provient d'une zone de sous-bois au sol spongieux et imbibé d'eau. De ce cloaque boueux de l'extrême amont émanent divers ruisselets qui se regroupent rapidement en petits ruisseaux, pour ne former bientôt plus qu'un seul petit cours d'eau peu avant de traverser le hameau de Mélines niché au creux du vallon. En amont de Mélines, l'Isbelle n'a circulé que sur des terrains non calcaires, essentiellement gréseux. Immédiatement en aval du hameau, elle entre en contact avec les calcaires de la Calestienne, en abordant

les bancs par le Nord-Est. C'est dès ce moment que l'on rencontre les premiers phénomènes karstiques.

Les calcaires sont caractérisés à cet endroit par la présence de deux petites failles locales, perpendiculaires à l'Ourthe, parallèles entre elles, à peu de distance l'une de l'autre, et pratiquement de même direction que les bancs et que la vallée de l'Isbelle. Ces failles ont pu influencer la conduite des eaux de surface, créant deux systèmes hydrogéologiques distincts.

Lorsque l'Isbelle atteint la première faille, elle la suit quelques temps et s'y perd sur une certaine distance, en tout ou en partie suivant le débit, puis part perpendiculairement, recoupant les bancs jusqu'à rejoindre la seconde faille pour s'y perdre totalement, ou partiellement par fort débit. Dans ce dernier cas, le trop plein réamorçait alors tout le cours aérien de l'Isbelle jusqu'au débouché dans la vallée de l'Ourthe. En aval, deux résurgences de fonctionnement dissocié, pourraient correspondre aux deux niveaux de pertes de l'Isbelle et suggèrent l'existence de deux systèmes hydrogéologiques distincts.

3. Fonctionnement des systèmes

L'activité de ces systèmes présumés varie fortement en fonction du débit des eaux, on peut distinguer trois étapes :

3.1. Étiage et régime habituel

En temps normal, tout le cours aérien de l'Isbelle se perd sur une cinquantaine de mètres, par des griffons et une série de pertes diffuses dans les cailloux, probablement au contact de la première faille. L'eau alimente la résurgence pérenne de Thot (appelée aussi "des Trottes") qui coule au pied du chalet-refuge du Spéléo Club de Belgique tout au bout de la vallée de l'Isbelle, et emprunte ensuite un cours de surface sur environ 250 mètres dans les alluvions de la vallée de l'Ourthe, avant de se jeter dans celle-ci. Dans ce cas, tout le cours normal de l'Isbelle est bien entendu entièrement à sec en aval de ces pertes. C'est la disposition la plus courante que l'on rencontre plusieurs mois par an. Ce réseau pertes-résurgence constitue le premier des deux systèmes hydrogéologiques de l'Isbelle et est le plus important.

3.2. Régime de petite crue ou d'orage

Lorsque des précipitations faibles mais constantes, ou un gros orage se produit sur le bassin d'alimentation de l'Isbelle, on assiste à un processus de saturation des pertes, et l'eau commence à s'écouler plus en aval dans le lit de l'Isbelle, pour venir se perdre dans une seconde série de pertes diffuses, probablement au contact de la seconde faille. L'eau de ces pertes alimente alors la bien connue résurgence de l'Isbelle (nous décrivons celle-ci plus loin), c'est le second système hydrogéologique. Dans ce cas les deux systèmes fonctionnent simultanément. Il faut toutefois un débit déjà important, ou un orage très violent, pour que la résurgence de l'Isbelle commence à fonctionner vraiment, en émettant de l'eau. Celle-ci emprunte alors la fin du cours aérien de l'Isbelle pour venir se jeter dans l'Ourthe.

3.3. Régime de crue ou de fonte de neiges

Enfin, lors de fortes pluies constantes ou lorsqu'un redoux fait fondre rapidement des masses de neige, les secondes pertes ne parviennent plus à absorber l'entièreté du débit, et le cours aérien de l'Isbelle se réamorçait alors complètement tout au long de la vallée. Cette dernière disposition est la plus rare et peut, dans le meilleur des cas, ne se rencontrer que quelques semaines par an.

3.4. Perturbations du schéma

Il faut noter qu'au gré des crues, des branchages, des débris de plastiques, des cailloux et sédiments peuvent venir obstruer momentanément mais fortement les premières et/ou les secondes pertes, et faciliter ainsi pour un temps les fonctionnements de trop-pleins décrits ci-dessus, alors que les débits restent modestes. Cette situation explique qu'il n'est pas rare que la résurgence de l'Isbelle crache un fort débit d'eau, alors que la résurgence de Thot fonctionne normalement. À l'inverse un important dégagement momentané des premières pertes combiné à un débit important de l'Isbelle a évidemment pour résultat visible une résurgence de Thot qui crache à plein et une résurgence de l'Isbelle étrangement calme et non émissive...

4. Les travaux spéléologiques

Dès 1953-54 les membres du SCB commencent à fréquenter et prospecter assidûment la région de Hotton. Le secteur de l'Isbelle intrigant par le curieux fonctionnement de sa rivière est très vite l'objet de recherches. Depuis les prospections et tentatives de désobstructions n'ont jamais cessé, sans réel succès, en dépit d'assez lourds travaux déjà réalisés.

En amont, divers chantiers ont été ouverts sur le secteur des pertes, l'un d'eux est encore en cours actuellement, mais jusqu'ici aucune cavité pénétrable n'a pu être explorée de façon significative. Cet échec s'explique en partie par le fait que les pertes ne se font pas en un point précis, mais sur une certaine distance, de ce fait les eaux se perdent soit simultanément à plusieurs endroits, soit tantôt à un endroit, tantôt à un autre. Cette dispersion a aussi dispersé le travail de l'eau sur la roche en tête de réseau, et il n'existe pas à proprement parler d'orifice de cavité, de franc départ de galerie. En aval par contre, les résurgences sont bien nettes, on peut en dénombrer trois : la Grotte du Héblon, la résurgence de Thot, et la résurgence de l'Isbelle.

5. La résurgence de l'Isbelle

Par grand étiage il est possible de pénétrer sur une quinzaine de mètres dans cette cavité, pour rencontrer vers moins quatre une profonde diaclase noyée. Il fallut attendre 1962 pour que Guy De Block, plongeur, membre fondateur de l'Equipe Spéléo de Bruxelles, y plonge sur une distance d'une centaine de mètres avec un point bas à -17 mètres, sans émerger vraiment, mais s'arrêtant sur une cloche d'air. Ce n'est que vingt ans plus tard que ces explorations seront poursuivies par les plongeurs néerlandophones Jan Maschelein et Stef

Devos qui dépassent le précédent terminus atteint. Ils découvrent un conduit rectiligne non siphonnant à l'étiage, et s'arrêtent 200 mètres plus loin dans une salle concrétionnée d'une dizaine de mètres de haut où démarre un troisième siphon dans lequel il ne parviendront pas, après plusieurs tentatives, à trouver une suite pénétrable. Au total la résurgence est donc actuellement connue sur une distance de 300 mètres, pratiquement rectilignes et parallèles au cours de surface de l'Isbelle.

6. La résurgence de Thot

Appelée à tort "fontaine de Thot", elle fut aussi l'objet de diverses tentatives de pénétration. Divers travaux dont l'enlèvement d'un énorme bloc obstruant l'entrée, et le creusement d'un puits de plus de cinq mètres dans l'argile en amont de la sortie d'eau ne permirent malheureusement pas de rendre l'orifice humainement pénétrable.

7. La grotte du Héblon

Appelée également "Trou des Lutons", "Grotte de la Cave à Vin", ou "Trou Edouard" est connue de longue date. La salle d'entrée fut murée et aménagée en cellier à l'époque de la construction du château du Héblon. De lourds travaux de désobstruction y furent entrepris en 1959 et 60 par les membres du Spéléo Club de Belgique qui y découvrirent sur trois niveaux principaux un complexe de plus de 300 mètres de galeries en partie joliment concrétionnées. Un puissant courant d'air, indice de vastes prolongements, parcourt certains secteurs de la grotte, et il est vrai qu'il y a là un beau potentiel géologique de découverte de vastes prolongements. Ceux-ci ne pourront toutefois être explorés qu'au prix

de longs et lourds travaux de désobstruction de l'argile qui comble certaines galeries. Cet objectif figure dans les tablettes des membres du Spéléo Club, nous nous le réservons, mais nous sommes fort occupés pour le moment sur d'autres chantiers en rive gauche de l'Ourthe, dans la Grotte de Hotton, à Ménil et à Marenne.

La Grotte du Héblon constitue probablement un exutoire fossile des eaux du premier système hydrogéologique de l'Isbelle et pourrait donc être rattaché à ce système, en dépit de son éloignement relatif, et de sa position hors-axe de la vallée de l'Isbelle.

8. Perspectives

Il y a donc là deux systèmes karstiques complets à découvrir. L'un assez modeste, que l'on peut appeler le système aval, et qui est manifestement essentiellement noyé. La meilleure voie de pénétration de ce réseau consisterait à trouver une suite à l'actuel siphon terminal de la résurgence de l'Isbelle, c'est hélas l'unique possibilité à ce jour.

Le second système est nettement plus intéressant, l'altitude d'entrée de la Grotte du Héblon, les 70 mètres d'épaisseur de calcaires qui se trouvent au-dessus, la dimension des conduits de cette cavité, et la présence de trois étages de galeries permettent d'espérer l'existence de vastes niveaux fossiles et l'accès au niveau actif. En dehors de la Grotte du Héblon, une dépression dans les bois plus haut sur le plateau, la Résurgence de Thot et un petit puits de sept mètres suivi d'un boyau étroit au niveau des pertes constituent d'autres points de pénétration possibles du système... moyennant beaucoup de travaux, du flair, le sens de l'observation, et un peu de chance.

Les cristallisations du réseau André Lachambre, Pyrénées Orientales (France)

Claude MASSART

Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au Pont
Rue du Wainage, 62 - 5700 Sambreville

Résumé

Après une présentation générale du Massif d'Ambouilla, une description des différentes formes de cristallisations présentes dans le réseau Lachambre est donnée.

Abstract

After a brief presentation of the Ambouilla Massif, an overview is made of the different cave minerals and crystal forms in the «Réseau Lachambre».

Mots clefs

Pyrénées Orientales - Réseau Lachambre - Cristallisations.

Keywords

Eastern Pyrenees - Lachambre cave network - Cave minerals.

1. Cadre géographique et géologique

Le réseau André Lachambre se situe dans la région du Conflent (synclinal de Villefranche) dans les Pyrénées Orientales. Il se développe sous le massif d'Ambouilla, qui culmine à 813m. L'entrée du réseau s'ouvre dans une ancienne carrière de marbre rose, dit «Flambé de Villefranche». On se trouve dans du calcaire dévonien, favorable à la karstification (fig. 1).

On désigne sous le nom de synclinal de Villefranche une bande de terrains dévoniens, au nord du massif du Canigou, s'étendant d'ouest en est sur 49 km de long, de Merens à Villefranche. Tout le synclinal est drainé par une circulation souterraine dans ces calcaires du Dévonien, depuis la région du Capcir jusqu'à la cluse de la Têt à Villefranche (grotte d'En Gornier). De même, le prolongement occidental de ce synclinal entre le Capcir et le Porteil d'Orlu est drainé par un réseau karstique dont la résurgence est à Fontrabousse.

La partie occidentale du massif est drainée par l'Oriège, l'Ariège et l'Aude, qui coulent vers le nord. La ligne de partage des eaux entre les versants atlantique et méditerranéen recoupe le massif du nord au sud de la Porteil d'Orlu au Carlit; l'autre zone appartient au bassin hydrographique de la Têt. Plusieurs de ces rivières traversent en cluse l'axe du chaînon calcaire et c'est à ce niveau que se localisent les pertes, grottes et résurgences. De l'ouest vers l'est, nous pouvons citer les cluses de l'Oriège, du Galbe et surtout d'un de ses affluents de la rive gauche, le Clots de Legat. L'Aude le franchit du sud au nord. Son lit incise le remplissage fluvio-glaciaire du bassin du Capcir sous lequel disparaît le massif. Nous retiendrons également les coupures de la rivière de Sansa et d'Evol, toutes deux coulant du nord au sud. Enfin, la plus importante, la cluse épigénique de la Têt au niveau de Villefranche recoupe sur 4 km de long la partie orientale et reçoit, au cœur

même du massif calcaire, deux affluents : le Cady et la Rotja. C'est en cet endroit que se localisent les manifestations karstiques les plus importantes.

2. Les différentes formes de cristallisations du réseau Lachambre

Cette étude consiste en une description des différentes formes de cristallisations que l'on peut rencontrer dans le réseau. Elle pourrait servir de base à une étude plus approfondie étayée par des mesures de différents paramètres comme la température, l'hygrométrie et l'étude minéralogique. Le réseau André Lachambre est une véritable géode où l'on peut rencontrer de très grandes variétés de concrétions et minéraux dont certaines sont particulièrement rares. Une étude sur le terrain par des spécialistes serait la bienvenue.

2.1 Cristallisations et concrétions de calcite

Les concrétions de type stalactites, stalagmites, colonnes, draperies, fistuleuses, gours, coupelles se rencontrent partout dans le réseau soit en nombre restreint ou en de superbes massifs, dans le Marde, la galerie du marteau, la salle Stéphane, la galerie des Lotois, et dans bien d'autres endroits.

2.2 Cristallisations d'aragonite

Les aragonites aciculaires, fleurs d'aragonite, aragonites coralloïdes, excentriques sont particulièrement spectaculaires dans les galeries blanches (canyons Blancs). Sur plusieurs centaines de mètres des milliers de fleurs d'aragonite recouvrent les parois à tel point que l'on ne perçoit plus la roche en place. Ces galeries sont un des aspects les plus spectaculaires du réseau Lachambre et méritent une étude détaillée, afin de décrypter les divers paramètres qui conduisent à la formation de ces cristallisations.

- CONFLUENT -

Rià-Vilafranca Vall de la Tet

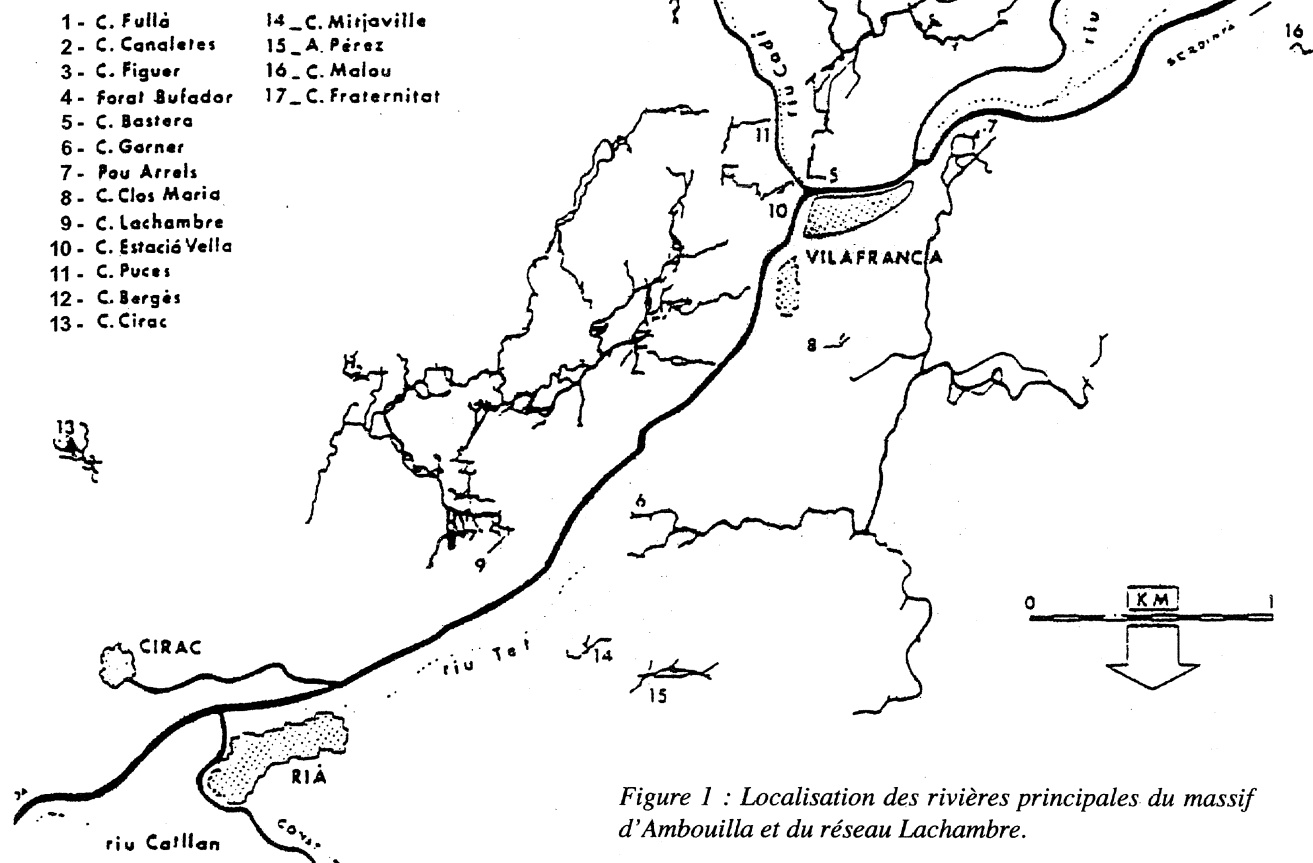


Figure 1 : Localisation des rivières principales du massif d'Ambouilla et du réseau Lachambre.

A cet endroit, la température est d'environ 17°C. D'autre part, la nature de la roche encaissante peut jouer un rôle car le réseau du Marde, est traversé par une importante veine de talc, minéral qui contient une quantité importante de magnésium ($MgO\ 31,7-SiO_2\ 63,5-H_2O\ 4,8$). Or l'ion Mg^{++} est un inhibiteur de la formation de la calcite par rapport à l'aragonite (Hill et Forti, 1997). Quel rôle a pu jouer le CO_2 ? Fait surprenant, on peut constater, dans une partie de galerie, le phénomène de stratification de l'aragonite décrit par Cabrol (1978).

Un autre fait très important est la présence d'hydromagnésite ($Mg_5(OH)_2(CO_3)_4 \cdot 4H_2O$) dont la présence est rare sous terre. Ce minéral a été découvert dans la Carlsbad Cavern (New-Mexico) et dans les Wind Caves (South Dakota). En France on en a trouvé dans les cavités suivantes : Moulis, En Gerner, Pas de Joulie (Geze B. et Pobeguín, 1964).

Des aragonites coralloïdes se rencontrent en beaux exemplaires dans la galerie du Marteau, on constate d'abord la formation d'aragonite aciculaire, puis le développement de l'aragonite coralloïde.

2.3 Perles des cavernes

Elles peuvent être colorées par des oxydes de métaux (fer, cuivre, nickel, etc.) et présenter des formes particulières (carrées, triangulaires). Elles sont présen-

tes principalement dans le réseau du Marde et du Canigou. Cependant les plus beaux sites se situent dans le Marde. Cela va de la perle millimétrique à la perle décimétrique, de la blancheur de l'ivoire en passant par différentes colorations, brunes, tigrées, bleues, etc.

Question forme, cela va de la sphère parfaite en passant par des formes hétéroclites, il en existe des carrées, ce qui est rare.

2.4. Cristaux de gours

On constate une grande quantité de gours dans le réseau, tous magnifiquement décorés, soit par des festons de calcite ou de cristallisations en dents de cochon. Certains gours sont recouverts de calcites flottante. En outre une particularité du réseau réside dans ce qu'on appelle le gour aux Coupelles où de magnifiques coupelles de plusieurs centimètres de diamètre se sont développées à la surface de l'eau. Il faut également signaler la présence importante de coulées de moonmilch, bien que ce type de formation serait plutôt à classer dans les dépôts cristallins incohérents.

2.5. Les excentriques

Elles sont présentes partout dans le réseau. On en rencontre dans le Marde sur une paroi où il y a une profusion de petites excentriques en forme de clochette, cro-

chet ou fil avec la présence de nombreuses gouttes d'eau. On en rencontre également sur des stalactites massives et sur des fistuleuses, ou en agglomérat sur les parois.

Les excentriques en doigts de gant sont des formes particulièrement rares, très peu décrites et étudiées. Je ne connais qu'un seul gisement dans le réseau. Il n'en existe que quelques autres en France, entre autre dans la grotte de la Dèvèze, région de Saint Pons, dans l'Hérault. Sont-elles en calcite ou en aragonite ?

2.6. Les formes plastiques.

Ce sont des formes temporaires ou non, constituées en majeure partie d'argile. Elles peuvent être temporaires suite à une arrivée d'eau momentanée ou, à l'inverse, à un assèchement d'une zone bien particulière. Dans le premier cas, il y aura une formation de coulées avec création de stalagmites, de sapins d'argile, trou de stillation, cheminées de fée, etc ... Certaines de ces formations peuvent se recouvrir d'une fine couche de calcite et présenter ainsi une plus grande résistance à l'érosion. Dans le cas de l'assèchement du sol,

il y aura formation de fentes de dessiccation, formant parfois des polygones de dessiccation. Dans le réseau Lachambre, il existe une zone où le sol présente des fentes de dessiccation sur un sol recouvert de fleurs d'aragonites.

Il faut dire que ce type de formation n'est pas facile à déterminer. De plus, elle risque d'être détruite, non pas par vandalisme, mais par méconnaissance et surtout par la fièvre de l'exploration. Une crue peut également mettre en péril ce type de formation.

3. Bibliographie

Cabrol P., 1978, Contribution à l'étude du concrétionnement carbonaté des grottes du Sud de la France, morphologie, génèse, diagénèse. Mém. de recherche Géol. et Hydrogéol. Univ. de Montpellier, v. 12, 275 p.

Gèze B. et Pobéguin T., 1964. Sur la présence d'hydromagnésite dans la grotte du Pas de Joulié (Gard). Actes du 59^e congrès Sociétés Savantes, p. 19-23.

Hill C. et Forti P., 1997. Cave minerals of the world, National speleological Society ed., USA, 463pp.

Enigme hydrogéologique à Plainevaux, Neupré.

José SCHOONBROODT

Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au Pont
Rue Chery, 47 - Mons-lez-Liège

Résumé

Le ruisseau de Plainevaux a disparu du jour au lendemain. Sous la perte nous avons découvert une grotte de 9 m de profondeur. Deux colorations nous amènent à considérer deux axes d'écoulement parallèles de direction N75°E, conduisant les eaux de Plainevaux au pied de la célèbre Roche-aux-Faucons d'Esneux.

Abstract

The Plainevaux creek disappeared suddenly in a swallowhole, which is now permanent. Under this new swallowhole, a cave of 9 meters deep opens. Two dye tracings reveal two parallel flowlines, oriented N 75° E, and draining Plainevaux creek toward a spring below the famous Roche-aux-Faucons (Falcon Rock) at Esneux.

Mots clefs

Perte - Grotte - Drainage souterrain - Province de Liège - Belgique.

Keywords

Swallowhole - Cave - Underground drainage - Province of Liège - Belgium.

1. Introduction

C'est par une information concernant la disparition sous terre du ruisseau de Plainevaux que commencent mes recherches géologiques sur la région.

Le 1^{er} octobre 1994, en visitant le jardin de sa mère situé derrière le ruisseau de Plainevaux, M. Maréchal constata que ce dernier avait disparu. En remontant le lit, il eut la surprise de voir l'eau pénétrer sous terre en face de la maison de M. Guidice, habitant au n° 7a, rue du Ruisseau. M. Maréchal est un de mes anciens collègues et il me téléphona pour me signaler le phénomène. Connaissant l'existence d'autres phénomènes de ce genre dans la région, je me rendis sur place dès que possible.

Ce genre de capture du ruisseau peut porter en Belgique bien des noms suivant la région : Adugeoir, Agolina, Aiguigeois, Chantoire, Douve ou Perte.

Cette chantoire du ruisseau de Plainevaux se situe sur la commune de Neupré (province de Liège, coord. Lambert : 231.675/137.350, altitude : 190 m.). Depuis le village de Plainevaux, on y accède en prenant à droite et en suivant le ruisseau. La chantoire se trouve 100 m. avant la cour de la ferme Marcotty.

Trouvant cette capture intéressante je me suis efforcé d'en recueillir un maximum d'informations. En six années de recherches j'ai finalement récolté une documentation importante sur la région.

2. Travaux et recherches

Dans un premier temps, une grue, mise à ma disposition le 7 octobre 1994 par la commune, m'a permis d'atteindre rapidement le banc calcaire à environ 80 cm. de profondeur.

Une lame de calcaire a été dégagée et retirée grâce

à une sangle attachée au bras de la grue. Ce bloc de pierre est toujours visible à côté de la chantoire, tel un petit menhir.

Par la suite, le travail de désobstruction s'est effectué à la main, à l'aide d'une table coulissante et d'un tire-fort. Après plusieurs séances de travail intensif le banc et la fissure étaient bien dégagés et on pouvait descendre à plus de quatre mètres. Le placement d'un gros tuyau sur cette chantoire allait permettre de poursuivre les investigations et le ruisseau pouvait reprendre son lit. De mois en mois, les travaux deviennent pénibles l'eau suinte de partout et la fissure étroite est difficile à élargir; petit à petit je me fraye un passage et plusieurs mètres sont grignotés sous le lit du ruisseau.

3. Prolongations et relations avec d'autres phénomènes

Comme dit plus haut, j'ai préalablement mené une enquête minutieuse, tant sur le terrain que dans les documents à ma disposition, afin de voir si le phénomène observé à Plainevaux était unique ou si d'autres existaient dans la région. Ce travail s'est révélé fort instructif car il m'a permis de repérer de nombreux phénomènes comparables (effondrements,...) et de les mettre en relation avec diverses résurgences bien connues.

Pour mettre en évidence les relations hydrogéologiques entre ces phénomènes, il fallait encore procéder à une expérience de coloration. Ce fut fait le 2 janvier 1998, par injection de 300 g de fluorescéine dans la perte. Il était alors 12 h 30. Le colorant est ressorti moins de 40 h. plus tard (le 4 janvier à 10 h.) à la résurgence de Fêchereux (ou résurgence orientale de la Roche-aux-Faucons, soit le point 39) distante de 2 km à vol d'oiseau et une centaine de mètres plus bas.

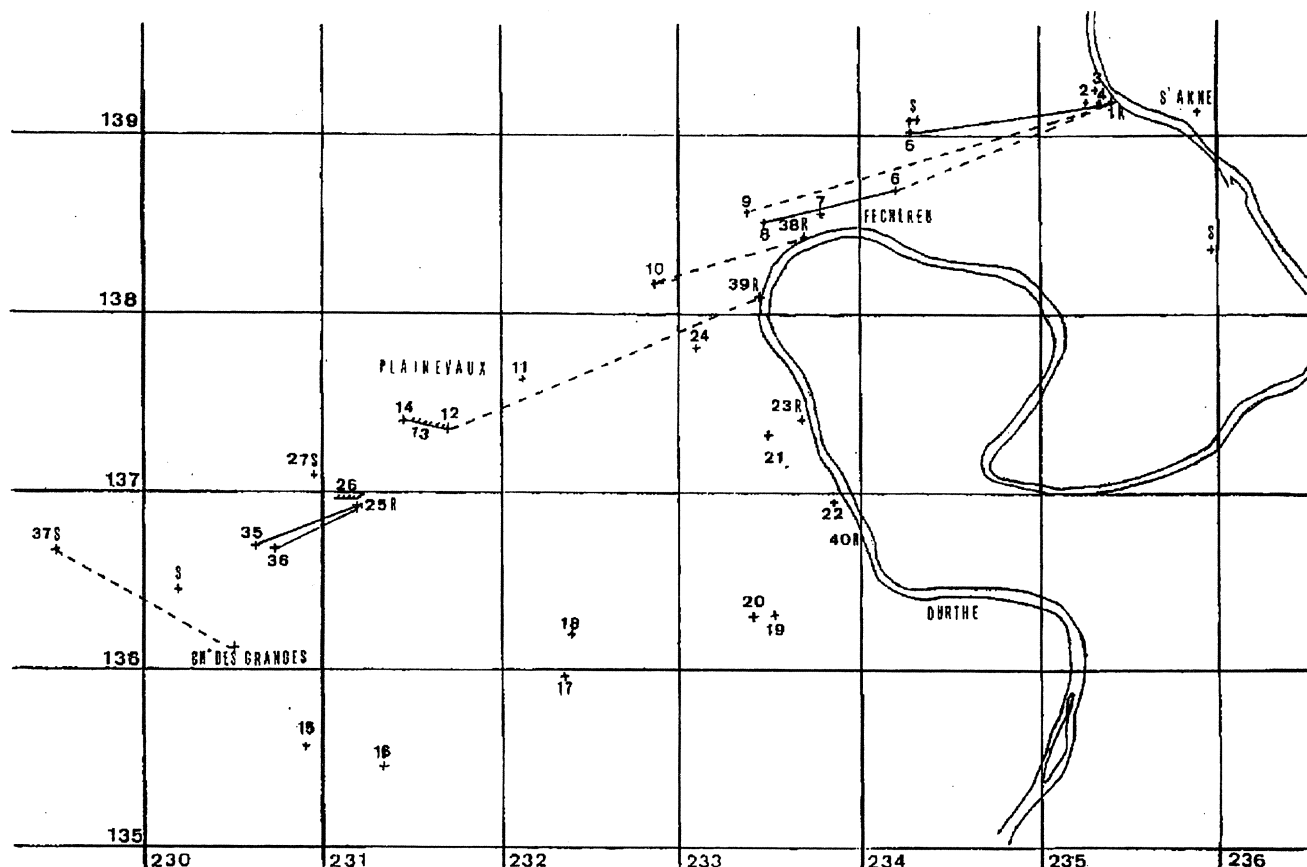


Figure 1 : Plan simplifié de la région étudiée. Les trajets mis en évidence sont en traits interrompus, les trajets supposés en traits pleins. Quadrillage en coordonnées Lambert.

Légende : 1. Résurgence de Monceau. 2. Grotte Monceau. 3. Trou aux Renards. 4. Trou du nid d'Aigle. 5. Chantoir de la Famelette. 6. Trou des Eaux Sauvages. 7. Roche aux Faucons. 8. Trou de la Vache. 9. Trou de la Triple Douve. 10. Douxhe de la Croisette. 11. Doline de l'ancien cimetière. 12. Château de Plainevaux. 13. Affleurement calcaire. 14. Effondrement dans la prairie. 15. Grotte du Baron. 16. Grotte du Putois. 17. Grotte Hoûte-si-Ploût. 18. Trou du Coup du Lapin. 19. Grotte du Ry de Martin. 20. Trou de la Hyène. 21. Grotte de Rosière. 22. Grotte Jacques. 23. Résurgence de Rosière. 24. Mine de grès. 25. Résurgence du Moulin. 26. Affleurement calcaire. 27. Source. 35. Chantoir du Moulin. 36. Chantoir le Botin. 37. Capture de la source du château des Granges et de sa ferme. 38. Résurgence de la Roche aux Faucons. 39. Résurgence orientale de la Roche-aux-Faucons. 40. Résurgence de la Magrée.

4. Des coraux dans la région !

La chantoir de Plainevaux est situé dans le calcaire givétien (Dévonien moyen). A Plainevaux, la roche est très fracturée et on trouve fréquemment, dans le lit du ruisseau, des débris, parfois de grande taille, de coraux fossiles. Il conviendrait, pour les identifier précisément, de faire des lames minces et de les examiner au microscope.

Au Dévonien, deux grands groupes de coraux coloniaux se partageaient les mers : les Tétracoralliaires et les Tabulés. Tous deux ont disparu à l'heure actuelle.

5. Compléments de recherche

Il restait à découvrir la perte alimentant la seconde résurgence du méandre de Fêchereux (résurgence de la Roche-aux-Faucons s. s., fig. 1, n° 38). Connaissant à présent l'axe général du réseau hydrologique, j'ai tracé sur une carte un trait parallèle à cet axe depuis la résurgence susmentionnée. Cette ligne passait par un gros effondrement situé derrière le nouveau cimetière de Plainevaux. Cet effondrement recueille des ruisselets provenant de Boncelles. D'année en année, j'ai pu constater son creusement.

M. D. Van Alken, qui habite non loin de là et qui s'intéresse à la toponymie de la région, m'a appris que cette chantoir porte le nom local de «douxhe», mot dérivé de douve, et nous avons décidé de l'appeler la Douxhe de la Croisette (coord. Lambert : X 232.800, Y 138.200, Z 215 m).

Le 29 décembre 1999, 130 gr. de fluorescéine ont été déversés dans la Douxhe de la Croisette. Le colorant est ressorti le matin suivant par la résurgence de la Roche-aux-Faucons (point 38), avec une concentration telle qu'il colorait toute la résurgence.

6. Bibliographie

- Bay, M. (1968). Le vallon de Beauregard : étude géomorphologique d'un synclinal calcaire. Mém. Lic. Sc. Géog. Ulg, 106 p.
- Briffoz, A. (1998). La prospection par résistivité électrique à la portée de tous. Regards, 33 : 15-19.
- Calembert, L.; Pel, J.; Monjoie, A.; Burton, E. & Lambrecht, P.L. (1974). Guides scientifiques du Sart Tilman. 1. Géologie. Conseil scientifique du Sart Tilman, Ulg, 107 p.

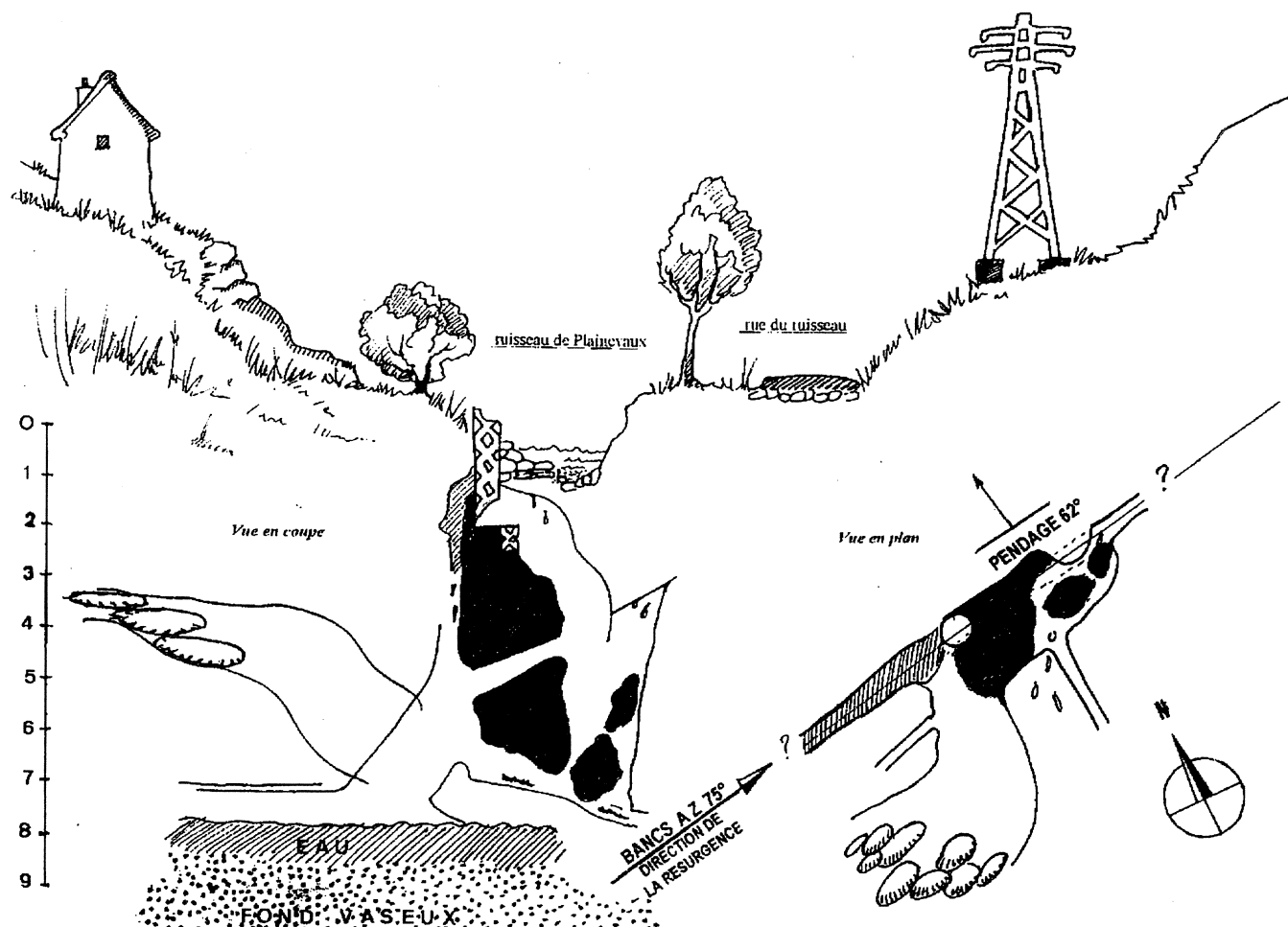


Figure 2 : La chantoire de Plainevaux

Calembert, L. & Monjoie, A. (1971). Bassin karstique et réseaux souterrains de la région de Beaufort (Liège, Belgique). Actes Coll. Hydrol. Pays calcaires (Besançon), 277-283.

Dethier, M. (1967). Etude morphologique et systématique de Coraux Tabulés du Dévonien moyen de l'Ardenne. Mém. Lic. Sc. Zool. ULg, 49pp, 23 pl.

Meus, Ph. (com. pers.). La technique des tracés en spéléologie (10 p. dactylographiées destinées à un cours).

Pel, J. (1965). Etude du Givétien à sédimentation rythmique dans la région de Hotton-Hampteau (bord oriental du synclinal de Dinant). Ann. Soc. Géol. Belg., 88 (8) : 471-521, 10 pl.

Raditzky (de), I. (1949). Quelques observations relatives à la planchette Taviers-Esneux (troisième note). Ann. Soc. Géol. Belg., 72 : 335-340.

Schoonbroodt, J. (1997). Méthodes d'élargissement de fissures par cartouches Hilti 6.8/11M (in De Bie & al., 1997). Regards, 28 : 23-26.

Schoonbroodt, J. & Guidice, C. (1998). Une nouvelle énigme hydrogéologique vient d'être percée dans la province de Liège. Regards, 32 : 32-33.

Van Alken, D. (2000). Quand un ruisseau disparaît du jour au lendemain. Mém. de Neupré, 24 : 880-884.

Aperçu karstogénétique de la grotte Sainte-Reine à Pierre-la-Treiche (Lorraine, France)

Benoît LOSSON

Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz

Impasse du Moulin, 18 - F-57070 Saint-Julien-lès-Metz

benoit.losson@umail.univ-metz.fr

Résumé

Les observations effectuées dans la grotte Sainte-Reine à Pierre-la-Treiche permettent de préciser les causes et les circonstances de la karstogenèse de ce réseau. Une étroite relation existe entre cet endokarst pénétrable et la Moselle, puisque la rivière a véritablement donné naissance à la cavité, tandis que le karst représente un témoin des anciennes percées hydrogéologiques ayant favorisé la capture de la Moselle.

Abstract

Karstogenetic overview of Sainte-Reine's cave at Pierre-la-Treiche (Lorraine, France). Observations in Sainte-Reine's cave at Pierre-la-Treiche allow us to specify the causes and circumstances of the karstogenesis of this network. A clear relation exists between this endokarst and the Moselle river, because the stream has created the cavern whereas the karst is a witness of the hydrogeological paleodrainages which have favoured the Moselle river piracy.

Mots clefs

France - Lorraine - Grotte Sainte-Reine - Karstogenèse - Capture de la Moselle.

Keywords

France - Lorraine - Sainte-Reine's cave - Karstogenesis - Moselle river capture.

1. Introduction

Parmi les plateaux calcaires de revers de cuestas en Lorraine (France), celui de Haye, à l'ouest de Nancy, possède la singularité d'être traversé à deux reprises et à une quinzaine de kilomètres d'intervalle seulement par un grand cours d'eau. Il s'agit de la Moselle qui a connu à cet endroit, au Quaternaire moyen, un détournement aux dépens de la Meuse et au profit de la Meurthe. Afin de préciser les circonstances hydrogéologiques de ce phénomène de capture hydrographique étudié depuis plus d'un siècle, des recherches ont été entreprises sur le karst du plateau de Haye, et notamment dans la grotte Sainte-Reine à Pierre-la-Treiche (fig. 1).

2. Le réseau karstique de Sainte-Reine

Les principales cavités karstiques du plateau de Haye se situent dans la vallée de la Moselle, à flanc de versant, et ne sont plus parcourues par aucune circulation hydrologique. C'est le cas de Sainte-Reine, réseau inactif semi-labyrinthique d'un peu plus d'un kilomètre de développement (Louis et Lehmüller, 1966; fig. 2).

Altitudinalement, cette grotte s'étend de 210 à 227m, soit +3,5 à +20,5m par rapport au niveau actuel de la Moselle, ce qui en fait une des plus basses connues dans la vallée. Malgré cette extension verticale de 17m, elle ne présente pas de galeries nettement étagées, simplement deux «crans de descente» vers le nord (fig.3).

Au point de vue lithologique, la majorité du réseau karstique est inscrit dans les Calcaires à Polypiers supérieurs du Bajocien moyen qui présentent à Pierre-la-Treiche un pendage monoclinale vers le nord-ouest (BRGM, 1985).

Enfin, il est à noter que la grotte se développe en partie sous un lambeau de terrasse fluviale dont la base est à 234m d'altitude (Losson, 1995), tandis qu'une autre formation alluviale à 225m (Dorniol, 1997) n'apparaît plus au niveau des entrées karstiques. Ces deux témoins d'encaissement de la rivière dans sa vallée sont respectivement immédiatement antérieurs et postérieurs à la capture de la Moselle (Harmand et al., 1995).

3. Observations endokarstiques

Trois types d'observations principales peuvent être effectuées à l'intérieur de la grotte Sainte-Reine.

3.1. Observations géologiques :

Outre la lithologie déjà évoquée, il s'agit des fracturations et des joints de stratification qui, lorsqu'ils ont été exploités par la corrosion, donnent respectivement des morphologies de type galeries-diaclase et anastomoses de joints de stratification. Toutes les formes intermédiaires de sections de galeries sont visibles dans le réseau.

Le spectre directionnel des fractures et fissures corrodées relevées dans la cavité (286 mesures) est nettement subméridien avec un pic principal à N165° (fig.5). Par rapport aux composantes directionnelles cumulées des galeries du réseau de Sainte-Reine (fig.4), il existe une bonne corrélation d'ensemble, même si les directions de galeries les plus représentées ne se calquent pas exactement sur celles de la fracturation. Ceci résulte très vraisemblablement du développement comparable des galeries tant sur les discontinuités tectoniques que stratigraphiques.

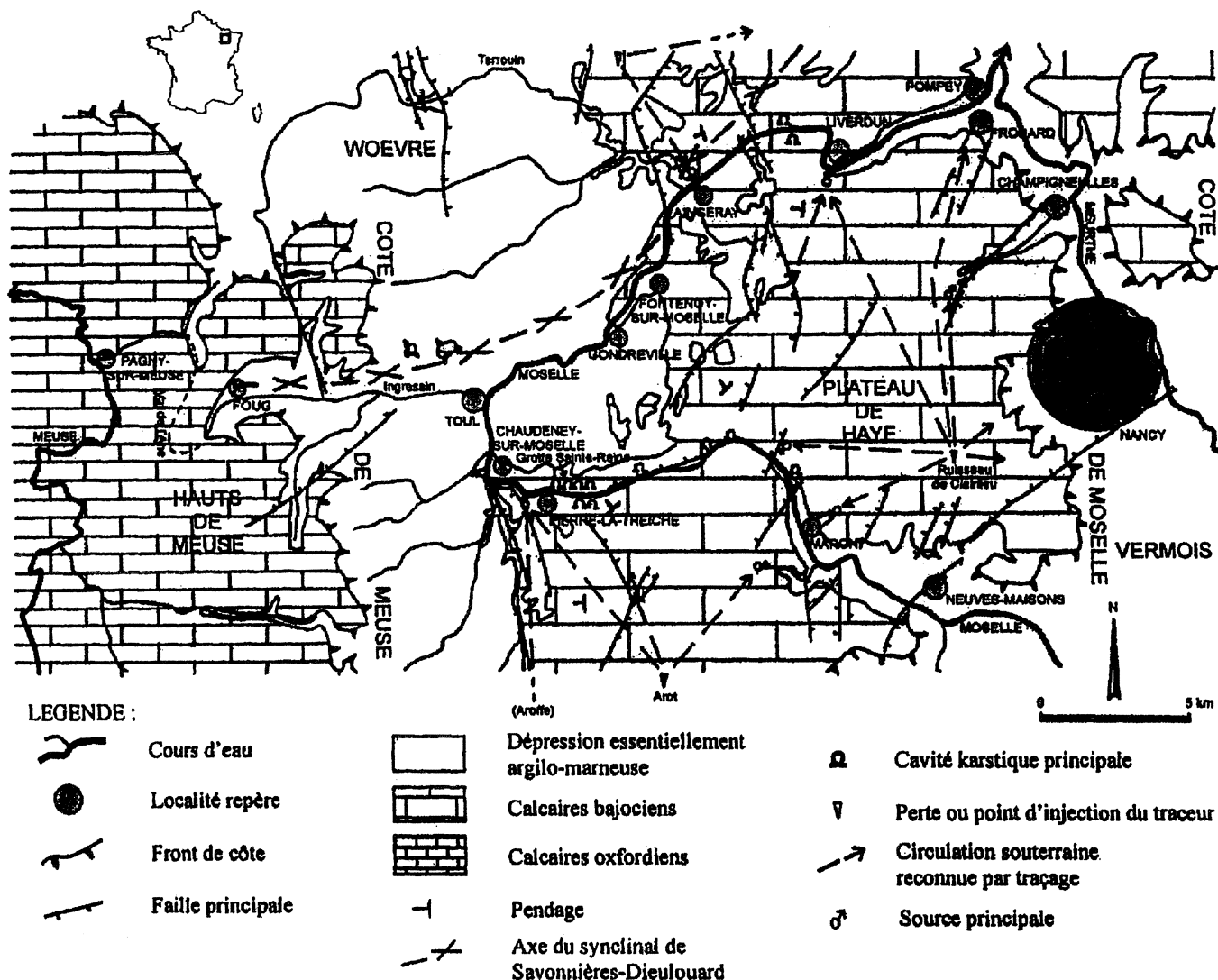


Figure 1 : Cadre morphostructural de la boucle de la Moselle et hydrogéologie du plateau de Haye (d'après les cartes géologiques de Toul et de Nancy au 1/50.000)

3.2. Observations morphologiques:

Elles permettent de définir à la fois le type de régime (noyé ou libre) et le sens des écoulements qui ont prévalu dans la formation des cavités (cf. Renault, 1967-1969, 1970). Dans la grotte Sainte-Reine, les morphologies de régime noyé sont partout présentes: anastomoses de joints de stratification et coupoles surtout, mais

aussi vagues d'érosion, pendants de voûte et fossiles en relief au toit des galeries. Les témoins d'écoulements libres apparaissent nettement moins nombreux en raison de l'observation très rare des parties inférieures des conduits karstiques encombrées de sédiments (voir ci-après). Quelques cascades, sommets de marmites et cannelures verticales ont pu être constatées.

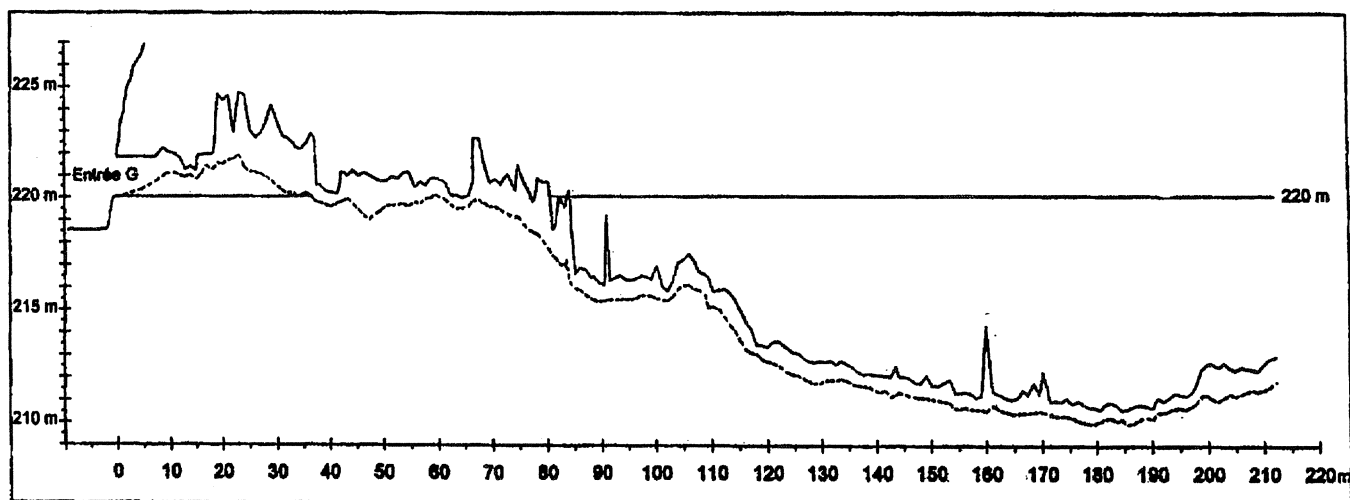


Figure 3 : Coupe longitudinale de la galerie de l'est de la grotte Sainte-Reine.

cours du temps et même parfois abondants, la dénivellation nécessaire à la karstogenèse apparaît difficile à définir. Un éclaircissement sur les circonstances de la karstification s'impose.

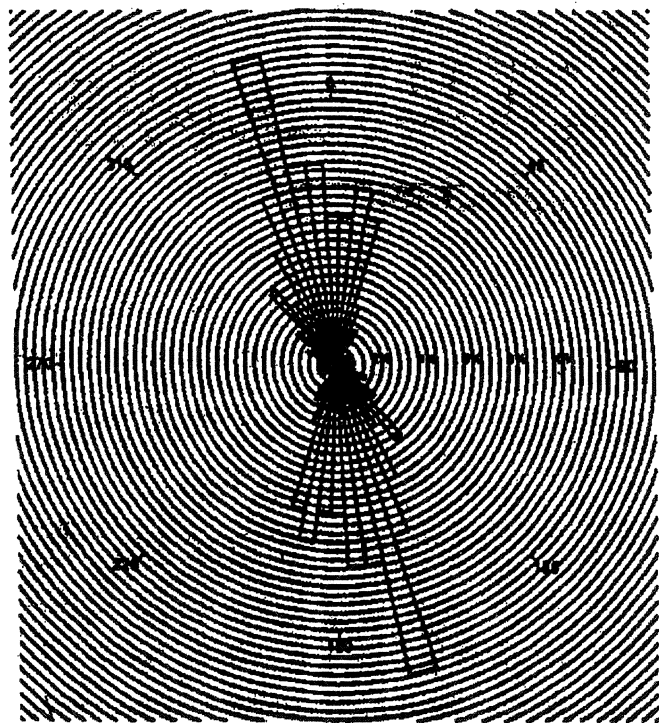


Fig. 4 : Diagramme directionnel des fracturations corrodées du réseau de Sainte-Reine (sur 286 mesures)

4.2. Modalités de la karstification

L'observation dans la cavité de cheminées de soutirage en communication avec la terrasse fluviatile (anté capture mosellane) située à 234m d'altitude, ainsi que les spectres pétrographiques comparés des galets de la formation alluviale correspondante et de ceux des remplissages endokarstiques, indiquent clairement une genèse sous-alluviale de la grotte Sainte-Reine (Gamez et Losson, 1998). Nous sommes donc dans le cas d'une karstification générée par des infiltrations d'eau issues d'une paléo-nappe alluviale mosellane, elle-même alimentée par la rivière (Gamez et al., 1995; Gamez et Losson, 1998).

L'évolution karstogénétique générale du réseau peut être retracée comme suit: à la karstification en régime noyé initiale a succédé une phase à écoulements libres ayant surcreusé verticalement certaines galeries (alors syngénétiques; Renault, 1967-1969, 1970). Puis s'est mis en place le remplissage par remaniements d'apports alluviaux mosellans gravitaires; les circulations libres ont été prédominantes au vu de la granulométrie des sédiments, mais des phases noyées ne sont pas à exclure. Cette deuxième grande période de l'histoire de la grotte correspond donc à une phase paragénétique (Renault, 1967-1969, 1970) et apparaît liée à des variations climatiques (Gamez et Losson, 1998), agissant en interaction avec la macro-morphologie souterraine modifiée continuellement.

L'alternance des régimes noyés et libres lors de la karstogenèse correspond vraisemblablement à des

battements de la nappe phréatique bajocienne, ce qui revient à considérer qu'il a existé des fluctuations du deuxième paramètre de l'énergie potentielle qu'est la dénivellation (Quinif, 1983, 1998).

5. Un niveau de base karstique éminemment variable?

Les seules observations endokarstiques de la grotte Sainte-Reine ne permettent pas de résoudre le problème posé. En effet, pour cerner la question du niveau de base, il serait nécessaire de connaître en priorité les émergences des circulations souterraines; or, les données relatives à ce karst de restitution (Gamez et al., 1995) restent encore à découvrir. Néanmoins, des hypothèses peuvent être avancées.

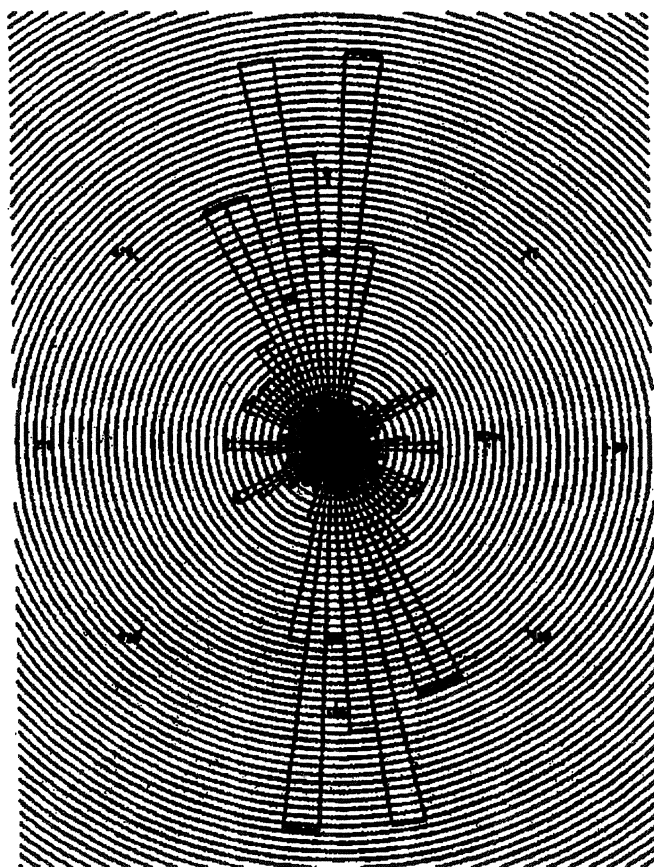


Fig. 5 : Diagramme directionnel des galeries du réseau de Sainte-Reine

Lorsque la nappe phréatique bajocienne était en charge, la karstification de Sainte-Reine s'effectuait en régime noyé, par des circulations lentes, mais corrosives tout de même (proximité de la source d'énergie principale qu'est la nappe phréatique alluviale). Etant donné que la karstogenèse s'est produite avant la capture de la Moselle (Gamez et Losson, 1998), les exutoires de ces écoulements de nappe sont à rechercher dans l'ancien bassin versant de la Meurthe altitudinalement «déprimé» (Harmand, 1989), aux alentours de Liverdun probablement (fig.1). En revanche, lorsque le niveau piézométrique de la nappe bajocienne était suffisamment bas pour

permettre des circulations libres dans la grotte de Sainte-Reine, le niveau de base karstique ne devait plus être régional mais local puisqu'il s'agissait vraisemblablement de la nappe phréatique elle-même. Il est possible alors que l'ancien bassin versant de la Meurthe n'exerçait plus le même pouvoir attractif sur les écoulements hydrogéologiques, mais était supplanté un temps par un rôle plus important du pendage des couches géologiques vers le synclinal de Savonnières-Dieulouard (fig.1).

6. Conclusion

Quoiqu'il en soit, le réseau karstique de Sainte-Reine résulte bien de la concentration simultanée des trois énergies mécanique, chimique et hydrodynamique, indispensable à la création d'un endokarst pénétrable (Quinif, 1983, 1998). Seule la puissance de chacune de ces énergies a varié au cours du temps ... jusqu'à l'assèchement puis la désactivation de la grotte, consécutifs à l'encaissement de la Moselle dans sa vallée.

7. Remerciements

Je tiens à remercier M. P. Gamez pour l'intérêt particulier qu'il porte à cette recherche menée au Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz.

8. Bibliographie

BRGM, 1985. Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Toul, troisième édition.

Dorniol Y., 1997. Etude morphologique de la vallée de la Moselle entre Neuves-Maisons et Chaudeney-sur-Moselle. Mém. maîtrise, Univ. Nancy II : 108p.

Gamez P., Wehrli A., Fizaine J-P. et Scapoli J., 1995. L'implication du karst dans la capture de la Moselle. Rev. Géol. de l'Est, T. 35, n° 3-4, Nancy : 297-308.

Gamez P., Losson B., 1998. Premiers résultats de l'étude des remplissages dans le karst de Pierre-la-Treiche (54); l'entrée E du réseau de Sainte-Reine. Mosella, PUM, Metz, à paraître.

Harmand D., 1989. Contribution à l'étude des alluvions anciennes de la Meuse entre Pagny-sur-Meuse et Mouzon (Ardennes); tentative d'une reconstitution paléogéographique et dynamique actuelle du bassin. Thèse, Univ. Nancy II - Nancy 1, vol. 1: 603 p., vol. 2 : 100 p.

Harmand D., Weisrock A., Gamez P., Le Roux J., Occhietti S., Deshaies M., Bonnefont J-C., Sary M., 1995. Nouvelles données relatives à la capture de la Moselle. Rev. Géol. de l'Est, T. 35, n° 3-4, Nancy : 321-343.

Le Roux J., 1985. Terrains non-affleurants et secondaires. Structure et géomorphologie. Notice explicative de la feuille de Toul de la carte géologique de France au 1/50.000, BRGM, Orléans.

Losson B., 1995. Paléo-écoulements aériens et karstiques du plateau de Haye: implications à la capture de la Moselle. Mém. maîtrise, Univ. Metz : 82p.

Louis M., Lehmuller D., 1966. Contribution à l'avancement du catalogue des cavités de Meurthe-et-Moselle. Ronéotypé, vol. 1: 137 p., vol. 2 : 34 planches.

Quinif Y., 1983. Eléments d'une approche énergétique du karst. Application à quelques exemples réels de karsts. Karstologia, n° 1, FFS, Paris, AFK, Nîmes : 47-54.

Quinif Y., 1998. Dissipation d'énergie et adaptabilité dans les systèmes karstiques. Karstologia, n° 31, FFS, Paris, AFK, Bordeaux : 1-11.

Renault P., 1967-1969. Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. Ann. Spéleo., Paris, T. 22, fasc. 1 : 5-21; T. 22, fasc. 2 : 209-267; T. 23, fasc. 1 : 259-307; T. 23, fasc. 3 : 529-596; T. 24, fasc. 2 : 317-337.

Renault P., 1970. La formation des cavernes. PUF, «Que sais-je?» n° 1400, Paris : 127 p.

Les cavernicoles et l'argile

Quelques informations et conseils à l'intention des spéléologues

Jean-Marie HUBART

Laboratoire de Biologie Souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul

Rue de Petit-Fraineux, 40, 4550 SAINT-SEVERIN

jm.hubart@wanadoo.be

Résumé

La présence d'une argile saine est indispensable au bon fonctionnement de l'écosystème souterrain, en particulier à la faune cavernicole. Celle-ci se trouve spécialement menacée par la dégradation de ce biotope essentiel. Analyse du problème, conséquences et propositions.

Abstract

A sound clay is essential to the good working of the underground ecosystem, especially for the cave faunas which are particularly threatened by the degradation of this essential biotope. Analysis of the existing situation, consequences and suggestions.

Mots-clés

Faune cavernicole - Argile - Protection environnementale.

Keywords

Cave fauna - Clay - Environmental protection.

1. Introduction

Depuis longtemps, nous nous inquiétons de la dégradation croissante des argiles qui recouvrent le sol, les parois latérales des galeries souterraines, ainsi que le fond des petites collections d'eau.

Nous savons évidemment qu'il est pratiquement impossible de parcourir certaines grottes, sinon la plupart, sans se traîner sur le sol, ou contre les parois et sans patauger dans les laisses d'eau.

Pourtant, on peut toujours essayer de l'éviter, surtout dans les portions de galeries où il reste çà et là des zones d'argile encore vierges. Cela mérite largement un petit effort.

En effet, la faune cavernicole est très dépendante de la présence dans les grottes d'une argile saine, c'est à dire non polluée et physiquement intacte. Nous allons tenter de vous expliquer pourquoi.

Précisons d'entrée que cette notice n'a guère de prétentions scientifiques, mais se veut avant tout didactique et explicative, dans l'espoir d'orienter un comportement.

2. L'argile des cavernes

Notre propos n'est pas de donner un cours sur l'argile : c'est un travail de spécialistes, où d'ailleurs beaucoup reste à faire. Nous nous limiterons seulement à rappeler quelques notions très générales, donc forcément incomplètes, que tout spéléologue moderne devrait au moins connaître.

L'argile est un milieu vivant, un authentique biotope au même titre que les rivières souterraines, les parois stalagmitiques ou les gours que chacun tente de respecter.

On y rencontre notamment deux grandes catégories de bactéries qui, en fait, ne s'entendent pas très bien entre elles, l'une présentant la fâcheuse tendance à tenter d'éliminer l'autre. Un comportement qui ne présente rien de bien original en somme et est même très répandu dans la biosphère.

2.1. Les bactéries autotrophes.

Leur nom signifie qu'elles sont capables de retirer directement du minéral les éléments nécessaires à leur vie. Le terme «directement» est important. En effet, toute possibilité de vie doit être extraite du minéral, mais la plupart des êtres vivants sont incapables de le faire par eux-mêmes et pour eux les éléments indispensables doivent d'abord transiter par d'autres vies. D'ailleurs, c'est notre cas : les minéraux qui nous sont nécessaires ont transité par des végétaux et/ou des animaux avant de parvenir, parfaitement assimilables, dans notre assiette.

Les autotrophes tirent donc, par oxydation des éléments minéraux, l'énergie qui leur est nécessaire et parviennent à réaliser la synthèse de composés organiques, sans que cela nécessite l'apport d'énergie lumineuse (on l'oublie toujours, celle là, mais sans elle, on n'est pas grand chose). Elles créent donc de la matière organique au départ de matières purement minérales. Elles forment des peuplements endogènes et sont les hôtes normaux et indispensables du milieu souterrain. Signalons pour la forme trois catégories importantes : les Nitrobactéries, les Thiobactéries et les Ferrobactéries (Caumartin, 1959).

2.2 Les bactéries hétérotrophes.

Il s'agit de bactéries d'origine extérieure aux grottes et elles ont besoin pour se développer de matières organiques toute préparée. En fait, elles ont besoin des autres.

On devine peut-être où nous voulons en venir : un excès de matières organiques dans les grottes favorise l'apparition des intrus et le développement anarchique des hétérotrophes. Or, ce développement s'effectue aux dépens des bactéries autotrophes qui sont rapidement éliminées.

L'équilibre du milieu souterrain est ainsi détruit ou gravement perturbé.

2.3. Quelques remarques sur une argile «saine».

Certes, dans les zones d'entrée des cavernes surtout, mais aussi dans les zones profondes, il y a des apports extérieurs de matières organiques : feuilles mortes ou autres débris végétaux ou animaux, pollens, spores de champignons.

Tout cela est naturel. En fait, une argile saine, contenant dans sa masse les populations de bactéries autotrophes, s'accommode en général fort bien d'une faible couche superficielle de débris organiques amenés par l'eau ou les courants d'air. Ces débris organiques contenant des bactéries hétérotrophes et, comme par hasard, des bactériophages, sont d'ailleurs une ressource trophique indispensable à la faune cavernicole.

Et puis, pas d'alarmisme : les autotrophes savent quand même un peu se défendre. Par exemple, les Nitrobactéries réussissent à minéraliser les protéines, ce qui permet d'éliminer ou de limiter la présence des hétérotrophes qui s'en nourrissent (Vandel, 1964). Ensuite, les argiles sont un milieu réducteur (en présence de sulfures) qui s'oppose au développement des moisissures (terme très général) en les forçant à s'enkyster (kystes mycéliens) (Caumartin, 1961). Bien sûr, il ne faut pas abuser : si dans les zones profondes et humides des cavernes on ne trouve que rarement des moisissures, dans les zones proches des entrées par contre, les débris organiques, beaucoup plus abondant dans un milieu plus sec et aéré, moisissent rapidement.

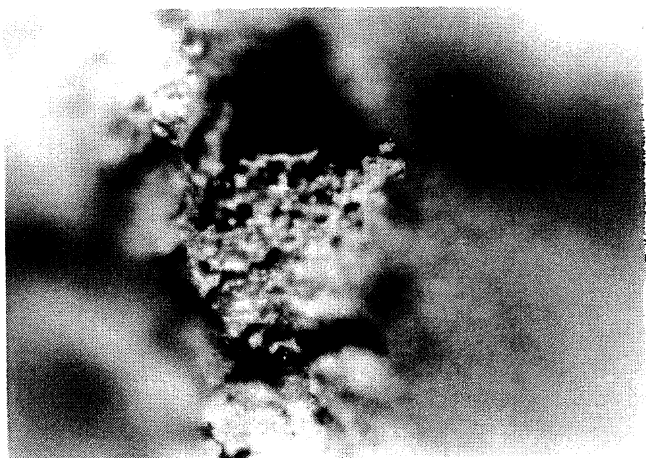


Photo 1 : Petit édifice d'argile protégeant la ponte d'un *Myriapode* (photo : Jean-Marie Hubart).

Enfin, une dernière remarque importante : les animaux n'ont pas la faculté de produire eux-mêmes les vitamines qui leur sont nécessaires. Ils doivent se les procurer par l'intermédiaire des plantes. Comment font les animaux cavernicoles qui vivent dans un milieu où l'obscurité constante empêche la photosynthèse, donc l'existence de plantes vertes ? Vous l'auriez sans doute parié : parmi leurs innombrables qualités, les bactéries autotrophes ont notamment la capacité de réaliser la synthèse des vitamines (Vandel, 1964). Bien sûr, il y aurait encore beaucoup à dire, mais nous en resterons là.

3. Comment les cavernicoles utilisent l'argile

En fait, nous devrions dire comment et pourquoi les hôtes des cavernes dépendent d'une argile saine pour leur développement et leur survie.

Les comportements observés sont nombreux et d'une parfaite cohérence. Nous nous limiterons donc à citer quelques exemples qui peuvent - ou pouvaient - s'observer facilement dans de nombreuses grottes de Belgique.



Photo 2 : Après ouverture pour observation, on constate la croissance rapide de filaments mycéliens : les oeufs n'éclosent pas (photo : Jean-Marie Hubart).

En fait, on pourrait croire que les animaux cavernicoles, notamment les plus spécialisés, ne vivent dans le monde souterrain que parce qu'ils y trouvent obscurité, humidité et, de manière générale, cette stabilité du milieu indispensable à leur existence. Il n'en est rien : l'argile aussi leur est indispensable pour des raisons que nous allons tenter d'illustrer ci-après. Rappelons que nous utilisons le mot «argile» dans son sens le plus général : en effet, dans la littérature, on passe avec une aisance surprenante du terme «argile limoneuse» au terme «limon argileux» ou «argilo-sableux» etc., alors !

Tout d'abord, il convient de signaler que si, dans les premiers stades de leur existence, des Troglobies très spécialisés (comme certains *Speonomus*, Coléoptères) ne se nourrissent pas, donc passent de l'état d'oeuf à l'état larvaire, puis à l'état de nymphe et enfin à l'état adulte sans absorber la moindre nourriture (rassurez-vous, ils ne manqueront pas de se rattraper par la suite), le cas est assez rare. En effet, durant les premiers stades de leur existence, de nombreux cavernicoles sont

limivores, c'est à dire qu'ils se nourrissent d'argile. D'une argile saine, ainsi que nous l'avons dit plus haut, contenant bien sûr des Bactéries, mais aussi des Bactériophages comme les Protistes. De la bonne bouffe vitaminée, quoi ?

D'autres utilisent l'argile différemment. Ainsi les Choleva, Coléoptères troglodytes assez communs sous terre à certaines époques, doivent subir dans le milieu souterrain une diapause, c'est à dire une période de repos de leur organisme permettant la maturation de certains de leurs organes. Durant l'été, ils entrent dans les grottes pour un séjour de quelques mois, mais ils ne peuvent rester simplement sur les parois ou sous les pierres : ils doivent s'isoler du milieu et pour cela construisent autour d'eux, un peu comme un igloo, une logette d'argile bien étanche. C'est aussi le cas de leurs larves (figure 1) (Hubart, 1973). Ils utilisent ainsi les propriétés fongicides de l'argile pour se préserver des moisissures. Précaution bien utile : qui n'a vu sur les parois des mouches égarées et attaquées par des champignons ?

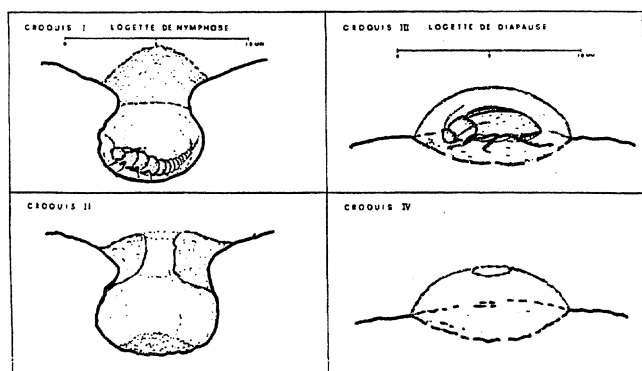


Figure 1 : Logettes de nymphose et de diapause de Coléoptères du genre Choleva, durant leur occupation et après la sortie des larves et imagos.

L'utilisation de l'argile par les cavernicoles est sans doute la plus étonnante au stade de la reproduction (il ne faudrait pas en conclure hâtivement que celle-ci se déroule sur un stade).

Les oeufs sont parfois simplement déposés sur les parois ou dans les fissures, mais dans de très nombreux cas, les femelles abritent leur ponte dans des édifices argileux parfois très perfectionnés. C'est notamment le cas chez de nombreux Myriapodes qui, tantôt enrobent chaque oeuf dans une pellicule d'argile, tantôt protègent l'ensemble de leur ponte dans une logette parfois multiplace (Juberthie-Jupeau, 1967). Le plus gracieux édifice que nous avons eu la chance d'observer est celui d'une espèce de Myriapode ayant construit un abri hémisphérique surmonté par une sorte de fine cheminée assurant peut-être une certaine ventilation (photos 1 et 2).

Les Coléoptères ne sont pas en reste. Nous avons montré en son temps (Hubart, 1974) comment la femelle d'un petit Carabidae, Trechus obtusus, se comporte au moment de l'émission de chaque oeuf. Elle applique à de nombreuses reprises l'extrémité de son abdomen sur l'argile humide. Celle-ci recouvre rapide-

ment le pygidium et l'oeuf à moitié expulsé. La femelle quitte alors les zones argileuses, rejoint une zone d'humus déposé par les hautes eaux et, d'un mouvement adroit et rapide de l'abdomen, referme les rebords de la masse d'argile sur l'oeuf qui se trouve ainsi entièrement enrobé. C'est très difficile, vous pouvez essayer (fig. 2, photo 3). Ce comportement est intéressant dans la mesure où, en toute hypothèse, il apporte une solution à un problème délicat : la larve doit éclore et se développer dans l'humus, mais dans l'état de semi-putréfaction de celui-ci, un oeuf qui y serait déposé n'aurait guère de chances d'y éclore, car il serait rapidement attaqué par les moisissures. A moins, bien sûr, d'être enrobé dans une gangue d'argile protectrice jusqu'à l'éclosion (photo 4) !

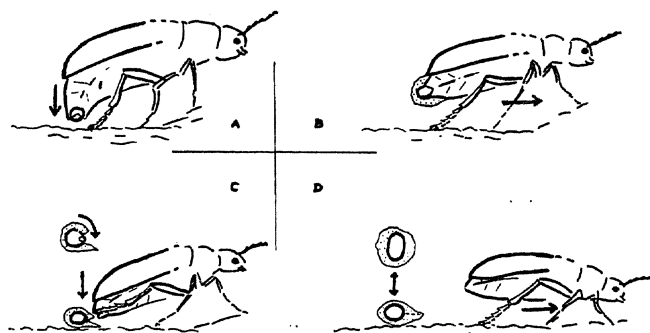


Figure 2 : A) La femelle de Trechus obtusus, sur le point de pondre, applique son abdomen sur l'argile humide.

B) Transportant la petite masse d'argile ainsi agglutinée, elle regagne l'humus.

C) et D) D'un mouvement de l'abdomen, elle se débarrasse de sa charge. L'oeuf se retrouve au centre, enrobé d'argile protectrice.

Nous pourrions ajouter bien d'autres exemples, mais nous terminerons en rappelant que durant la période de nymphose, particulièrement délicate, car la nymphe est très vulnérable, de nombreuses espèces s'abritent dans des logettes d'argile jusqu'au moment de l'éclosion (photos 5 et 6).

4. Les menaces

Elles sont d'abord d'ordre physique.

Chaque fois que j'extrait péniblement mes trois quarts de quintal de viande et d'os (surtout les os, vous savez) de quelque grotte un peu pénible, je me demande combien de vies j'ai arrêtées à l'improviste, en raclant les parois argileuses. Combien de logettes j'ai arasées. Combien d'oeufs, soigneusement enrobés d'argile protectrice, j'ai bêtement passés au mixer. Sans parler de mon passage tornadesque dans cette nappe d'eau, là derrière ! Et quand je me suis stupidement adossé à cette paroi pour souffler un brin ?

Aucune sans doute : combien d'autres étaient déjà passés avant moi ?

Mais ce n'est pas une justification !

Ensuite, l'aspect bio-physico-chimico ! est primordial.

Au-delà d'un certain seuil, que nous sommes bien incapable de définir, tout apport de matières organiques induit un déséquilibre dans l'argile. On sait que la pro-

portion d'hétérotrophes augmente dans les limons argileux en fonction de la pollution des eaux, alors que la proportion d'autotrophes décroît (Gounot, 1960). Et surtout, c'est sans doute le plus important, le passage répété des visiteurs du monde souterrain constitue un danger. De ces visiteurs, il en existe toute une gamme, pas toujours très harmonieuse d'ailleurs.

Tout d'abord, il y a ces merveilleux admirateurs prudents, furtifs, contemplateurs avisés, connaisseurs subtils et complexés à l'idée de commettre l'irréparable. Les Spéléologues comme moi, par exemple. Mais nous sommes heureusement de plus en plus nombreux maintenant, au point que je me demande parfois si je ne suis pas un élément de trop dans cette harmonieuse confrérie.

Rien n'est parfait, mais tout est perfectible : il subsiste malheureusement une frange très marginale de mauvais Spéléologues. Ils sont mystérieux, souvent indécélables, car ils sont toujours « les autres ». On leur doit néanmoins, en grande partie, la situation actuelle où la quasi-totalité des grottes présentant encore quelque intérêt sont soigneusement fermées pour les protéger ou protéger leur beaux restes. Nos honorables collègues découvreurs passent sans doute plus de temps à protéger leurs découvertes qu'à découvrir.

Enfin, il y a ces dévastatrices cohortes d'imbéciles lobotomisés, matière première de certains Tour-operators, qui ne sont qu'une destructrice et dérisoire parodie : «Les bronzés font des grottes», humour en moins. Saluons pourtant ces derniers pour leur taux de réussite exemplaire : ils sont grotesques à 100%.

Ces subtiles, mais néanmoins indispensables, distinctions ayant été faites, il n'en demeure pas moins que les passages répétés provoquent un malaxage continu, introduisant bactéries hétérotrophes et matières organiques au coeur de l'argile saine (en s'appuyant des coudes, des genoux et, de manière générale, de tout ce qu'une reptation impose d'appuyer). Et là, on le sait déjà, les hétérotrophes auront tôt fait d'éliminer les autotrophes et, en même temps, les propriétés nutritives et fongicides de l'argile entre autres choses. D'ailleurs, on le sait depuis fort longtemps que le malaxage induit un déséquilibre profond dans l'argile, comme on va le voir ci-après.

Dans la grotte de Montespan, les statues d'ours, de lions et de chevaux, construites par les «Anciens» en accumulant des mottes d'argile prélevées çà et là dans la grotte et agglutinées, ont assez médiocrement résisté au temps. On peut même supposer que s'ils ont placé une vraie tête d'ours emmanchée sur un faux corps d'argile entassée, c'est parce qu'ils ont remarqué, dès le départ, qu'une fausse tête en vraie argile bien malaxée ne tenait pas. Je ne suis pas sûr que vous avez suivi, cela peut paraître confus, désolé.

Par contre, dans la Grotte du Tuc d'Audoubert, leur technique était différente : au lieu de les modeler, ils ont d'abord sculpté dans l'argile en place, sans aucun malaxage (j'insiste lourdement) les prestigieux bisons, qui sont restés intacts depuis quelque 10.000 ans.

En toute hypothèse, ces «Anciens» avaient donc compris empiriquement, il y a des milliers d'années,

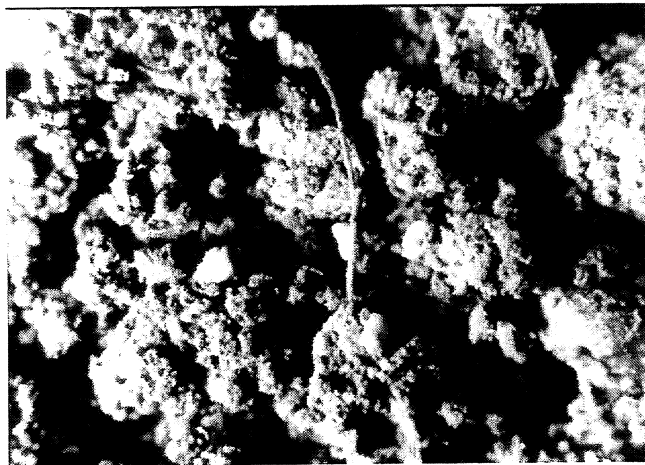


Photo 4 : Les grumeaux clairs sur l'humus sont des oeufs de *Trechus obtusus* enrobés d'argile et à l'abris de toute agression extérieure (moisissures, prédateurs) sauf celle des Spéléologues (photo : Jean-Marie Hubart).

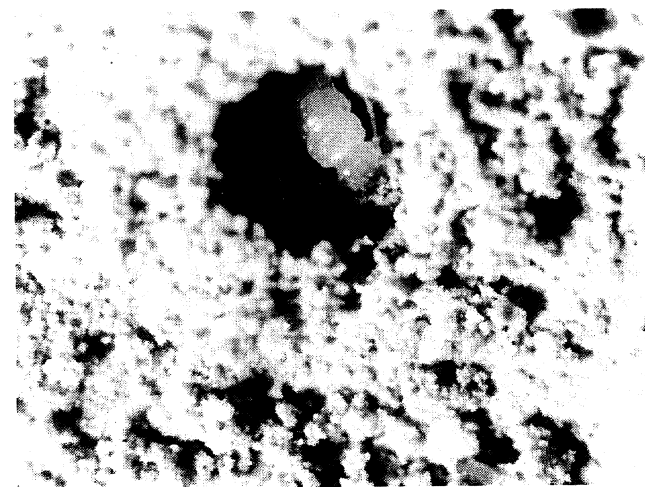


Photo 5 : Larve de *Cholevininae* construisant sa logette de nymphose sur une paroi (photo : Jean-Marie Hubart).

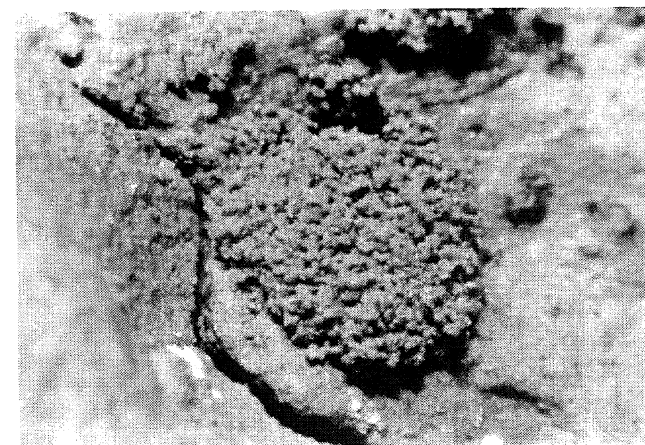


Photo 6 : Aspect de la logette terminée (photo : Jean-Marie Hubart).

qu'on ne peut malaxer l'argile sans induire de déplorables déséquilibres «bio-physico-etc... »

Je ne fais donc rien d'autre ici que rappeler à mes collègues contemporains des choses tellement élémentaires qu'on en tenait déjà compte il y a des milliers d'années.

Le Spéléologue d'aujourd'hui devrait essayer de ne plus être un boulanger qui pétrit la mort des sols des cavernes. Ce serait bien, si on parvenait au XX^{ème} siècle à être aussi subtil qu'il y a 10.000 ans.

5. Les solutions

Je n'en vois pas, ce qui ne signifie pas nécessairement qu'il n'y en a pas. Et puis, la régénérescence cela existe, même dans les cavernes. Des années de manipulations de l'argile au Laboratoire souterrain de Ramiouil nous ont fait comprendre qu'il faut, à l'évidence, fort longtemps pour qu'une argile malaxée ou polluée «se reconstitue» partiellement, et encore. Mais elle le fait. Enfin je crois. Mais si je suis un peu ours, je ne suis pas de Montespan et je n'ai ni le temps, ni l'intention de patienter 10.000 ans pour vérifier mes espérances! Allons, dans quelques siècles ou millénaires, la mémoire des grottes aura bien oublié ce que furent brièvement les divagations ambitieuses de ces petits hommes dans leurs arcanes.

Mais en attendant, on peut toujours tenir compte de ce qui précède, en essayant notamment :

- d'éviter de se frotter inutilement contre les parois rocheuses recouvertes d'une pellicule d'argile, d'y prendre appuis sans nécessité, de s'y adosser. Mais c'est quasi impossible dans beaucoup de grottes.

- d'éviter d'abandonner des déchets organiques, qui favorisent la prolifération des bactéries hétérotrophes, avec les conséquences néfastes que l'on sait. Cela, il n'y a que les scientifiques sérieux comme moi qui peuvent (hypocritement) se le permettre pour attirer la faune, afin de l'étudier. Notez bien qu'on effectue ces dépôts organiques avec prudence et parcimonie et «qu'un peu» de déchets organiques exogènes est indispensable à l'existence de la vie dans le monde souterrain. La preuve, c'est qu'ils accourent, les petits Troglos! La difficulté est bien sûr de ne pas dépasser un seuil supportable par le milieu.

Si, par hasard, vous apercevez au cours de vos pégrinations souterraines quelques coins d'argiles vierges, ça et là dans les galeries ou les salles, efforcez-vous de ne pas les déflorer inutilement, en pensant que, peut-être, ce sont ces quelques décimètres carrés seulement qui permettent à l'un ou l'autre habitant de la grotte, dont vous n'êtes que les hôtes accidentels, d'y

continuer sa vie tranquille. A noter que le fait d'enlever chaussures ou chaussons avant d'explorer n'est une démarche (c'est le cas le dire) valable que pour les concrétions. Pour les argiles, pieds nus ou chaussures, cela ne change que le type de mycose.

Mettez un point d'honneur à ce que l'effet de votre passage sous terre se résume à la brève clarté de votre photophore qui passe (Ca, j'ai dû le lire quelque part!).

Facile à dire, n'est-ce pas ? Mais vous ne trouvez pas que l'on pourrait s'enorgueillir d'être, surtout sous terre, simplement une lumière qui passe ?

6. Conclusions

Si vous n'êtes pas parvenus à les tirer par vous-mêmes de ce qui précède, c'est dommage pour les grottes, dommage pour la faune qui m'est chère. Dommage pour moi qui n'ai donc pas su bien expliquer. J'ai fait un réel effort pour rédiger cet article. Alors, je vous demande l'effort de réfléchir à ce que j'ai écrit. Contrairement à ce qui est généralement admis, les conclusions sont le seul chapitre dont un auteur devrait impérativement se dispenser. C'est au lecteur et à lui seul de conclure.

7. Bibliographie

Caumartin V., (1959). Aspect morphologique et position systématique du *Perabacterium spelei*, Bull. Soc. Bot. Nord France, 12.

Caumartin V., (1961.) Le comportement des moisissures dans le milieu souterrain, Troisième Congrès Intern. Spéléologie. Vienne.

Gounot A.M., (1960). Recherches sur le limon argileux souterrain et sur son rôle nutritif pour les *Niphargus* (Amphipodes Gammaridés), Annales de Spéléologie, 15.

Hubart J.-M., (1973). Etude du comportement saisonnier des Coléoptères Catopidés (Genres *Choleva* et *Catops*), Bull. Chercheurs de la Wallonie, 22 : 383-417.

Hubart J.-M., (1974). Une particularité remarquable du comportement reproducteur de *Trechus obtusus* Erich. (Coleoptera, Carabidae), Annales de spéléologie, 29, 4 : 667-670.

Juberthie-Jupeau L., (1967). Les Oothèques de quelques Diplopodes Glomeridia, Rev. Ecol. Biol. Sol. 4, 1 : 131-142.

Vandel A., (1964). Biospéologie. La Biologie des Animaux Cavernicoles. Gauthier-Villars Ed. 619pp.

Découvertes récentes sur l'hibernation des chiroptères

Thierry KERVYN

Unité de Recherches en Zoogéographie, Ulg
Plecotus, groupe de travail chiroptérologique d'Aves
Institut de Zoologie, Quai Van Beneden, 22 - 4020 Liège
E-Mail: thierry.kervin@student.ulg.ac.be

Résumé

Etat des recherches sur la physiologie de l'hibernation des chauves-souris.

Abstract

Current research on the hibernation physiology of bats.

Mots clés

Hibernation - Chauves-souris.

Keywords

Hibernation - Bats.

1. Introduction

Inlassables insectivores, ces mammifères sont confrontés à une période de disette hivernale. Là où d'autres animaux décident de s'en aller pour des lieux plus cléments, nos chiroptères restent dans nos régions, en léthargie.

Grâce à leur remarquable système de navigation par écholocalisation, les chiroptères ont pu occuper les cavités souterraines pour hiberner, voire pour installer leurs colonies d'été, surtout en Europe méridionale.

Le déclin prononcé de certaines espèces de chauves-souris depuis les années 1960 a poussé les naturalistes et les scientifiques à investiguer le mode de vie de ces animaux.

De nombreux travaux mettent en évidence l'extrême sensibilité des chiroptères durant la période d'hibernation. Il est certain que le développement récent de sports et loisirs dans le milieu souterrain a contribué au déclin de certaines espèces, au même titre d'ailleurs que la destruction de grottes par des carrières, que les profondes modifications des terrains de chasse de ces animaux (liés aux bouleversements dans l'agriculture et la foresterie) ou que la disparition de gîtes d'été accessibles pour les colonies de reproduction (combles et clochers).

Par cet article, nous souhaitons faire le point sur les dernières découvertes sur l'hibernation de ces mammifères et tenter de répondre aux nombreuses questions souvent suscitées par la présence de ces animaux dans les cavités souterraines.

2. L'hibernation des chauves-souris

Dans nos régions, l'absence de proies durant les six mois de l'automne et de l'hiver ne permet pas aux chauves-souris de maintenir leur métabolisme élevé. La solution qu'ont apporté ces animaux à cet obstacle est l'hibernation, engourdissement ou léthargie susci-

tée par le froid. Cet état physiologique par lequel le rythme cardiaque et respiratoire notamment sont fortement réduits leur permet de réduire de façon affolante leur métabolisme. Il est admis que cette réduction est d'environ 99%□!

C'est ainsi qu'elles parviendront à tenir durant les six mois froids sans se nourrir, en ne vivant que sur les réserves de graisses qu'elles ont accumulées dès la fin de l'été.

Plusieurs contraintes limitent les possibilités de survie qu'offre l'hibernation :

1. Les chauves-souris, véritables mammifères volants, ne peuvent accumuler des réserves de graisses en quantité illimitée.

D'une part, de façon à toujours pouvoir voler de manière satisfaisante, elles ne peuvent accumuler qu'un grand maximum 1/3 de leur masse corporelle. L'acquisition de plus grandes réserves réduirait la portance de leurs ailes et leur manoeuvrabilité aérienne, ce qui réduirait autant leur capacité à attraper des proies.

D'autre part, les femelles ont allaité leur unique jeune jusqu'à la fin du mois de juillet, ce qui représente pour elles une dépense énergétique considérable. Elles ne peuvent donc commencer à accumuler leurs réserves de graisses qu'après le sevrage. La même difficulté existe pour les jeunes de l'année. Ils ne parviendront à accumuler des réserves de graisses qu'après avoir investi d'abord dans leur croissance corporelle et avoir mieux maîtrisé le vol et la capture de proies. Les jeunes rejoignent d'ailleurs en général les sites d'hibernation plus tardivement que les adultes.

2. L'immobilité prolongée qu'induit l'hibernation ne doit pas être une source de déshydratation de l'animal. Le choix de sites frais et humides, tels que les cavités souterraines, pour entrer en léthargie permet de pallier partiellement à ce problème. Le repliement des ailes permet également de limiter le dessèchement de celles-ci. Enfin, des

éveils périodiques permettent aussi aux individus d'aller boire en vol, au-dessus d'une surface d'eau libre.

3. L'hibernation requiert un environnement optimal, d'ordre thermique par exemple, puisque la température corporelle des chauves-souris approche la température ambiante durant la léthargie. La température du lieu où s'accroche un individu dans la cavité souterrain ne doit pas être trop élevée, sous peine de provoquer des réveils spontanés trop fréquents. De même, le gel n'est en général pas toléré par les individus en hibernation. Etant donné que ces conditions fluctuent dans la cavité au cours de l'hiver, il peut être intéressant pour un individu de se réveiller et de se déplacer dans la cavité ou dans une cavité proche. La dépense énergétique du déplacement peut être facilement comblée par le gain d'une hibernation dans un site optimal où la thermorégulation de l'individu sera minimale.

Ceci explique, par exemple, pourquoi lorsque l'on visite plusieurs fois par hiver une cavité souterraine, on peut observer que des individus ont bougé.

3. Mais alors, pourquoi doit-on éviter de réveiller les chauves-souris si elles se réveillent quand même toutes seules ?

Intuitivement, on peut comprendre facilement que tout réveil oblige les individus à puiser dans leur réserve énergétique, forcément limitée puisqu'ils ne se nourrissent plus.

Ce que les scientifiques ne soupçonnaient pas jusqu'à présent, c'est l'ampleur des dépenses énergétiques liées aux réveils et surtout la différence importante entre un réveil spontané de l'animal et un réveil provoqué, induit.

Deux recherches récentes (Speakman et al. 1991, Thomas 1995) permettent de mieux saisir les dépenses énergétiques associées à la léthargie et aux phases de réveil (tableaux 1 et 2).

Ainsi, en utilisant des techniques de physiologie, ces auteurs ont pu mesurer en laboratoire la consommation d'oxygène de chauves-souris en léthargie, en réveil ou en activité, ce qui permet de connaître la consommation énergétique des animaux. De même, la température corporelle d'individus, mesurée sur le terrain et sans les manipuler au moyen de radio-émetteurs thermosensibles, permet d'identifier la durée des phases de léthargie, de réveil et d'activité, puisque la température corporelle rejoint la température ambiante durant l'hibernation.

Ces travaux (Thomas, 1995) ont permis d'observer que des réveils spontanés ont lieu à peu près tous les 15 jours pour *Myotis lucifugus* dans le site étudié et durent environ 5,0 + 0,5 heures (n=17). Le temps durant lequel un individu a sa température augmentée - dépassant 60 °C (endo-thermie)- est d'environ 1,8h.

Les réveils induits, notamment par la manipulation des individus, durent par contre beaucoup plus longtemps, environ 13, 9 +0,8 heures (n=11). La durée de l'endothermie est alors de 10,1 +0,5 heures.

La différence entre ces deux modes de réveil est considérable au niveau énergétique pour les chauves-souris hibernantes. Un cycle naturel de léthargie de 15,3 jours (torpeur + réveil naturel) induit une dépense énergétique de 3,6 kJ (tableau 1). Par contre, un cycle de léthargie de 15,3 jours faisant suite à un réveil provoqué, induit une dépense énergétique de 14,2 kJ, soit un surplus d'environ 10-11kJ par rapport à une torpeur naturelle (tableau 2). Cette différence équivaut à la consommation de 0,3 g de graisses ou encore à 3 cycles naturels de torpeur-réveil, soit près de 50 jours d'hibernation□!

Cette consommation supplémentaire des réserves de graisses hâte dès lors le réveil des individus au printemps. Poussés à chasser précocement par manque de réserves énergétiques, ils ne trouveront que très peu d'insectes pour se nourrir étant donné les conditions météorologiques trop froides. Si l'individu n'en meurt

Durée :	15,1 jours	Réveil naturel (5 heures)			15,1 jours	Réveil naturel (5 heures)		
Activités :	torpeur	réchauf.	endothermie (1,8 h)	rentrée en torpeur	torpeur	réchauf.	endothermie (1,8 h)	rentrée en torpeur
Dépense énergétique :	947 J	563J	1733 J	378J	947 J	563 J	1733 J	378 J
		2674 J						
		3621 J						

Tableau 1: Cycle de léthargie en condition naturelle (d'après Thomas, 1995). Conclusion: un cycle naturel de léthargie de 15,3 jours (torpeur+réveil naturel) induit une dépense énergétique de 3,6 kJ.

Durée	15,1 jours	Réveil provoqué (13,3 heures)			4,9 jours	Réveil naturel (5 heures)		
activités	torpeur	réchauf.	endothermie (10,1 h)	rentrée en torpeur	torpeur	Cfr. ci-dessus		torpeur
Dépense énergétique	947 J	563 J	9724 J	378 J	307 J	2674 J		602 J
		10665 j						
					14248 J			

Tableau 2: Cycle de léthargie suite à un réveil provoqué (d'après Thomas, 1995). Conclusion : un cycle de léthargie de 15,3 jours faisant suite à un réveil provoqué induit une dépense énergétique de 14,2 kJ, soit un surplus d'environ 10-11 kJ par rapport à une torpeur naturelle, ce qui équivaut à la consommation de 0,3g de graisses ou encore à 3 cycles naturels de torpeur-réveil, soit près de 50 jours d'hibernation.

pas, ses possibilités de reproduction en seront tout de même réduites. Le renouvellement de la population ne comblera alors plus les mortalités, provoquant ainsi une régression des effectifs de la population.

Les réveils surviennent systématiquement lors de manipulation d'individus (plus de 15 secondes) et aussi, bien que moins fréquemment, lorsque les individus sont, soit soumis à une lumière de forte intensité (flash, torche), soit à des bruits persistants (Speakman et al 1991). Les effets de ces stimulations visuelles ou sonores sur le réveil des individus ont été testés séparément en laboratoire. Il est fort probable que ces différents stimuli associés agissent en synergie et abaissent le seuil de sensibilité au réveil des chauves-souris en hibernation.

4. Conclusion

Les travaux actuels semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle le réveil des chauves-souris, suite à des dérangements durant leur hibernation, est extrêmement néfaste pour ces animaux.

Les chauves-souris méritent notre vigilance à plusieurs égards. Tout d'abord, c'est un élément typique du monde souterrain au même titre que des concrétions

dans une galerie. C'est un patrimoine que rien ne nous autorise à laisser disparaître par seules malveillance ou ignorance. Les chauves-souris sont aussi des mammifères qui nous débarrassent «bénévolement» de tonnes et de tonnes d'insectes chaque année. Bon nombre de leurs proies sont considérées comme des «pestes» par l'agriculteur (hannetons, tipules, similies,...) ou le forestier (hannetons, lépidoptères dont les chenilles sont défoliatrices,...). Le rôle des chauves-souris dans le milieu naturel nous permet donc d'éviter partiellement l'utilisation de l'arsenal pharmaco-chimique dans nos paysages et les aléas polluants qu'il implique.

Enfin, même si c'est plus subjectif, la découverte d'une chauve-souris est toujours une source d'émerveillement et d'émotion, ce qui n'est pas négligeable non plus !

5. Bibliographie

Speakman, J.R., Webb, P.I. & Racey, P.A., 1991. Effects of disturbance on the energy expenditure of hibernating bats. *J. Appl. Ecol.*, 28 : 1087-1104.

Thomas, D.W., 1995. The physiological ecology of hibernation in vespertilionid bats. *Symp. zool. Soc. Lond.*, 67 : 233-244.

Apport des traçages dans l'établissement des zones de surveillance des captages karstiques.

Le cas de Hastière, province de Namur.

Georges MICHEL

Commission Wallonne d'Etudes et de Protection des Sites Souterrains (CWEPSS)

Avenue Auguste Rodin, 21 - 1050 Bruxelles

cwepss@swing.be

Résumé:

Cet article présente à travers un cas concret, l'apport des méthodes de traçages dans la définition des zones de protection et de surveillance autour des captages. C'est à la demande de la Région Wallonne que la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains a réalisé en novembre 1997 un traçage dans un vaste synclinal calcaire à Hastière. L'aquifère étudié alimente un ensemble d'émergences situés dans la vallée de la Meuse. Deux de ces venues d'eaux sont captées et fournissent en eaux la population de l'entité. La détermination des zones de surveillance et de protection autour des captages pose des problèmes spécifiques dans les aquifères karstiques. La circulation anisotrope de l'eau et l'existence de larges fissures imposent des méthodes d'investigation particulières pour délimiter les zones à risques. Le recours à la méthode des traçages offre une approche intéressante et empirique dans un environnement où les modélisations ne donnent pas de résultats fiables. En vue d'étudier le bassin d'alimentation des captages et des différentes émergences ainsi que pour délimiter les zones les plus vulnérables du point de vue des pollutions, des traceurs fluorescents ont été injectés simultanément dans trois pertes. Durant 6 semaines, 9 sites d'émergence potentielle (dont les deux captages) ont fait l'objet de prélèvements réguliers. Les traçages ont été complétés par des analyses de la qualité des eaux aux différents points de perte et d'émergence du système. C'est sur base des résultats des traçages que les zones d'alimentation et de surveillance prioritaires ont pu être déterminées pour le captage d'Hastière. D'autres constatations faites à cette occasion montrent l'utilité de la technique de traçage dans la détection des sources de pollution et la nécessité de généraliser cette approche pour définir les zones d'alimentation des résurgences karstiques.

Abstract

At Hastière (Wallonia, province of Namur), several karstic springs resurge from a large and complex limestone syncline. Three fluorescent tracers have been injected into different swallow holes. They have been traced downstream in 9 potential points of reappearance to question the origin of water streams in that area. Despite the low water level during this period some underground streams have covered over 3,5km in less than 8 days; this shows how important it is to permanently watch water supplies in karstic areas. Completed by water analysis, these findings show how useful the tracing technique is in detecting sources and in defining its water supplies area and protection zones.

Mots clefs

Karst - Eaux souterraines - Traçage - Zone de protections - Synclinorium de Dinant.

Keywords

Karst - Groundwater - Tracing - Protection zone - Synclinorium of Dinant.

1. Zones de protection et de surveillance autour d'un captage

En région wallonne, une législation spécifique [décret du 30 avril 1990 modifié par les décrets du 23 décembre 1993 et du 7 mars 1996 sur la protection et l'exploitation des eaux souterraines et des eaux potabilisables] impose la délimitation de zones de protection dans le cas de captage. Ainsi, en nappe libre, une zone de prévention doit être déterminée pour toute prise d'eau à usage de distribution publique alors que, pour ces mêmes prises d'eau en nappe captive, cette détermination reste facultative.

En nappe libre, cette zone de prévention est scindée en deux sous-zones, appelées respectivement zone de prévention rapprochée (ou zone IIa) et zone de pré-

vention éloignée (ou zone IIb). Les modalités de délimitation de ces zones sont décrites ci-après (fig. 1).

1.1. La zone de prise d'eau (appelée I) :

La zone de prise d'eau (10m autour de la source, de la galerie drainante ou du forage dont on extrait l'eau) qui doit être clôturée et dans laquelle seules les activités de prise d'eau sont autorisées. La société (ou la personne physique) exploitant le captage doit être propriétaire de ce terrain.

C'est généralement dans ce périmètre que se situent également les pompes, et les installations de traitement et de chloration des eaux.

1.2. La zone de prévention (appelée IIa & IIb) :

La zone de prévention est subdivisée en zone rapprochée et éloignée.

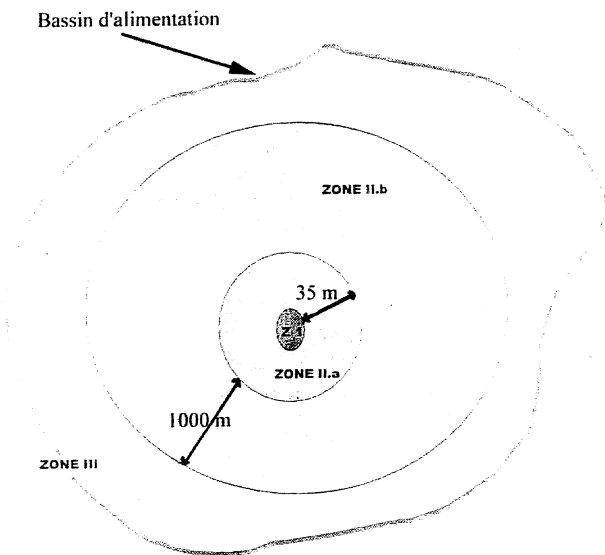


Figure 1: Définition et délimitation des différents périmètres de prévention et de surveillance autour des captages

Zone 1 = Zone de prise d'eau (10m de rayon autour de la prise d'eau ou de la source exploitée)

Zone 2.a = Zone de prévention rapprochée (transfert vers le captage en 24h ; par défaut portée à 35m)

Zone 2.b = Zone de prévention éloignée (transfert vers le captage en 50 jours ; par défaut portée à 1000 m)

Zone 3 = Zone de surveillance (correspondant au bassin d'alimentation de la prise d'eau)

La zone IIa s'étend jusqu'à une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage égal à 24 heures dans le sol saturé. A défaut de données suffisantes, cette zone est délimitée par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface.

La zone IIb englobe tout le périmètre extérieur de la zone d'appel de la prise d'eau. Toutefois ce périmètre ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de cinquante jours dans le sol saturé. A défaut de données suffisantes, le périmètre de cette zone est de 100 mètres pour les formations aquifères sableuses, 500 mètres pour les formations aquifères graveleuses ou la distance entre le cours d'eau et la limite de la formation aquifère alluviale et 1000 mètres pour les formations aquifères fissurées ou karstiques.

Lorsqu'il existe des axes d'écoulement préférentiel de circulation des eaux souterraines alimentant l'ouvrage de prise d'eau, la zone IIb est étendue le long de ces axes sur une distance maximale de 1.000 mètres et sur une largeur au moins égale à celle de la zone IIa.

Autour de chaque captage, la délimitation des périmètres de protection doit faire l'objet d'un arrêté ministériel pour être légalement reconnue. Un ensemble de mesures et d'interdictions sont alors appliquées dans les zones IIa et IIb, pour assurer la qualité des eaux du captage.

Ces mesures couvrent l'interdiction ou la réglementation de diverses activités : épuration individuelle, usage d'hydrocarbures, activités agricoles, décharges, cimetières, terrains de sports, utilisation de substances pol-

luantes. L'énoncé exhaustif de ces mesures et des délais de mise en conformité qui les accompagnent figurent dans les annexes des décrets mentionnés ci avant.

1.3. La zone de surveillance:

Enfin, il faut signaler la possibilité pour le Gouvernement Wallon de délimiter des zones de surveillance. Celles-ci sont définies comme des aires géographiques comprenant les bassins ou parties de bassins d'alimentation des zones de prise d'eau existantes ou en projet. Les propositions de zones de surveillance doivent également faire l'objet d'une enquête publique et d'arrêtés de délimitation du Gouvernement Wallon. Dans ces zones de surveillance, les épandages d'effluents d'élevage, de produits autorisés à être épandus à des fins agricoles et d'engrais azotés ne peuvent dépasser certaines doses maximales.

Par définition, la zone de surveillance couvre le bassin d'alimentation du captage. Contrairement aux zones de prévention qui se basent essentiellement sur le transfert possible de polluants en zone saturée, la zone de surveillance permet également de tenir compte des risques de contamination indirecte liés aux ruissellements en surface ainsi qu'à l'infiltration à travers la zone non saturée.

2. Intérêt des traçages pour définir ces zones de protection

2.1. Le principe du traçage

Le principe du traçage est simple puisqu'il consiste à superposer à l'écoulement de l'eau celui d'un traceur que l'on peut ensuite identifier aisément à la sortie du système.

Lors de son passage sous terre, le traceur est affecté par le circuit emprunté par les eaux souterraines et, d'autre part, par son comportement propre vis-à-vis de la roche et du solvant que l'on souhaite ainsi marquer (dans ce cas-ci, l'eau).

La technique des traçages permet en particulier de vérifier et de déterminer la provenance de l'eau pour une importante source et inversement les différents points de sorties d'eau alimenté par la zone dans laquelle on effectue l'injection.

Cette technique devient de plus en plus efficace grâce à l'utilisation des multitraçages et la possibilité d'une interprétation quantitative.

L'hydrochimie consiste en l'analyse de divers éléments de l'eau. On peut ainsi classer la qualité de l'eau suivant des critères de potabilité etc ... Cette méthode devient de plus en plus difficile vu la diversité des substances introduites dans le milieu.

2.2. Intérêts du traçage

Le multitraçage tel qu'il a été réalisé à Hastière présentait deux intérêts majeurs:

- celui de mettre en évidence indubitablement les liaisons entre certains points du bassin et les émergences situées en aval;
- celui de pouvoir utiliser les courbes de restitution ainsi obtenues, pour modéliser le transport au sein de l'aquifère et évaluer sa vulnérabilité vis-à-vis de certaines pollutions.

Ces deux informations, considérées simultanément, devraient alors permettre de délimiter de manière plus précise les zones de protection qu'il y a lieu d'instaurer autour des captages.

Toutes les données recueillies par les diverses méthodes peuvent être réunies pour aboutir à l'établissement de modèles du fonctionnement du karst. Ceux-ci permettent de simuler des réactions de l'aquifère à certaines perturbations: pollutions, crues, surexploitation.

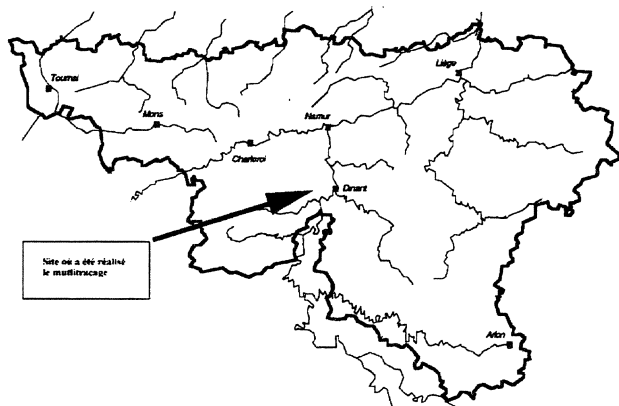


Figure 2 : Carte de localisation générale du site de Hastière

3. Application de cette approche aux captages d'Hastière

3.1. Les Objectifs de l'étude :

L'étude concernant la protection des prises d'eau à Hastière (fig. 2) a été l'occasion de mettre au point une méthodologie pour l'étude des circulations d'eaux souterraines et des aquifères karstiques.

Basée sur des traçages, cette méthode complétée par des observations, des études concernant la qualité des eaux, les activités à risques et une bonne connaissance des sites karstiques permet de proposer une gestion intégrée tenant compte de la spécificité des aquifères karstiques.

Le site de Hastière a été choisi en raison de la présence de captages dont les eaux alimentent une population importante. La détermination, dans la zone d'alimentation de ces captages, des points d'enfouissement et des axes karstiques avait pour but de délimiter des zones de plus grande vulnérabilité à surveiller en priorité. Ces zones permettent de définir les mesures particulières à prendre par la commune pour mieux protéger son capital hydrique.

3.2. La méthodologie générale :

La délimitation des zones de surveillance a été déduite d'un ensemble de relevés réalisés sur le terrain. Ceux-ci ont permis d'appréhender l'hétérogénéité de l'aquifère karstique, de rassembler des informations sur les circulations dans le sous-sol calcaire et de déterminer l'origine de certaines anomalies dans les eaux souterraines. Ils ont consisté en :

- la prise en compte du cadre géologique et hydrologique du bassin synclinal de Hastière. Sur base de la nouvelle carte géologique, détermination des zones d'alimentation possibles pour les différents points de résurgences et recherches de points de pertes en vue d'injecter les traceurs.

- un multitraçage réalisé à partir de trois points de perte naturels. La surveillance et l'échantillonnage de 9 résurgences où les traceurs étaient susceptibles de réapparaître avaient pour but de mettre en évidence les relations hydrogéologiques de type « perte- résurgence ».

- des analyses de la qualité des eaux. La présence de polluants constitue un traçage « naturel » entre des sites pollués en amont et les émergences. L'analyse de substances qui ne sont pas fréquemment mesurées (pesticides, hydrocarbures, métaux lourds, etc.) a mis en lumière des anomalies dans la qualité des eaux du bassin hydrogéologique.

- un inventaire complet des sites karstiques du bassin étudié, la localisation des sites karstiques est essentielle dans l'étude des aquifères calcaires; il s'agit de points d'infiltration privilégiés dont la prise en compte permettait d'éviter qu'une pollution affecte directement la nappe souterraine et, par extension, les captages qu'elle alimente.

- un relevé des sources de pollution dans le bassin d'alimentation des captages. Pour les sources de pollution préoccupantes, l'accent a été mis sur l'urgence et la nécessité d'une réhabilitation pour garantir l'intégrité du patrimoine hydrique de ce synclinal calcaire.

3.3. Le cadre physique de l'Etude :

Le site d'Hastière se localise à l'extrémité de deux vallons karstiques, celui du Féron et celui du Tahaux, qui constituent les axes de drainage principaux d'un vaste massif synclinal calcaire. Dans cette partie aval, on peut observer deux captages à l'émergence et plusieurs sources à gros débits. Sans traçage il était impossible de déterminer lequel des deux vallons alimente ces différentes émergences.

3.4. Géologie



Figure 3 : Carrefour de Hastière, vu depuis l'aval. L'éperon rocheux marque la limite entre les deux vallons étudiés qui confluent à hauteur du carrefour (à gauche le Féron, à droite le Tahaux)

La région de Hastière est constituée d'un massif plissé où alternent les affleurements de calcaires carbonifères et les formations schisteuses du Famennien. Les calcaires sont en position synclinale et orientés suivant un axe Est-Ouest; ils occupent les creux des vallons et les versants, les grès du Famennien formant le substrat des plateaux (appelés tiges) correspondent aux bombements anticlinaux (fig. 4).

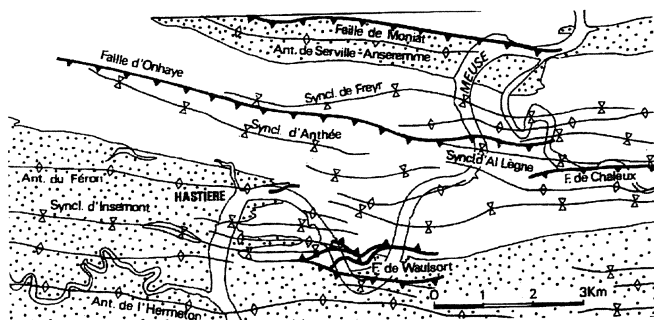


Figure 4 : Structure géologique de la région de Hastière. [D'après la carte géologique 53/7-8, Hastière-Dinant, par Delcambre et Pingot, 1993]. En blanc les synclinaux calcaire du Dinantien et en tacheté les anticlinaux gréseux.

Le synclinal calcaire (fig. 5) concentre les eaux de ruissellement des anticlinaux famenniens peu perméables et constitue un réservoir aquifère isolé et allongé selon l'axe de son pli majeur (Est-Ouest). Cet aquifère est vulnérable aux pollutions de surface en raison de sa perméabilité importante et du réseau karstique qui s'y est développé et qui draine les eaux sans filtration.

3.5. Hydrologie

3.5.1. Le vallon du Féron

D'orientation ouest-est, les eaux s'écoulent parallèlement aux directions des couches géologiques.

Dans sa partie amont, le vallon est constitué par une vallée sèche. Quelques rares écoulements temporaires absorbés par des pertes y sont observés.

Le ruisseau de Féron prend sa source sur les crêtes gréseuses d'Inzémont et ne rejoint la vallée karstique que quelques dizaines de mètres en amont du captage communal. Au contact avec les calcaires, le Féron se perd progressivement sous terre. En période de basses eaux, le vallon est à sec en aval du site des grottes du Pont d'Arcole. Le seul exutoire permanent du vallon est une émergence qui jaillit sous le carrefour de la route.

3.5.2. Le vallon du Tahaux

Ce vallon recoupe transversalement les couches géologiques. Le vallon sec débute à la chantoire de Frumont, à côté de la station d'épuration de l'INASEP.

Cette chantoire, autrefois active, a vu ses eaux reprises dans le collecteur des eaux usées de Onhay. L'exutoire principal du vallon est une émergence permanente située à l'extrême aval [TAHO], à 100 mètres du carrefour et fonctionnant comme le débordement de la nappe des calcaires au contact avec les calcschistes de la formation de Maurenne.

3.5.3. Comparaison entre les deux vallons

L'écoulement depuis Miavoye (Féron) se fait parallèlement aux couches géologiques, dans une zone où celles-ci sont redressées (pendage compris entre 81° et 90°), alors qu'entre la station d'épuration de Onhay et la résurgence du Tahaux, les formations sont traversées perpendiculairement. Par ailleurs :

- l'exutoire du Féron est une source apparemment variable, témoignant d'un système très karstifié, avec peu de réserves en amont;
- l'exutoire du Tahaux est une source au débit + stable, indiquant la présence d'une grande réserve aquifère, même si, de toute évidence, un ou plusieurs drains karstiques importants y aboutissent

3.6. Réalisation du multitracage à Hastière (fig. 6):

Trois traceurs fluorescents distincts ont été utilisés afin de tester différents points du bassin tout en effectuant qu'une seule campagne de surveillance aux émergences (principe du multitracage). Une dizaine de points de sortie, y compris les captages ont ainsi été surveillés pendant une période de 6 semaines. Les traceurs utilisés ne présentaient par ailleurs aucune toxicité susceptible d'affecter les captages.

3.6.1. Choix des points d'injection (fig. 7).

Nous avons choisi d'effectuer les injections dans des points de perte naturels, afin de tracer des axes de circulation (fissures ou véritables « rivières souterraines ») présentant des vitesses importantes pour l'écoulement des eaux... mais aussi des polluants. Ceci permettait d'étudier des circulations en grand plutôt que l'écoulement lent à travers des microfissures où les possibilités d'épuration sont bien plus importantes et donc les zones de surveillance nettement plus réduites.

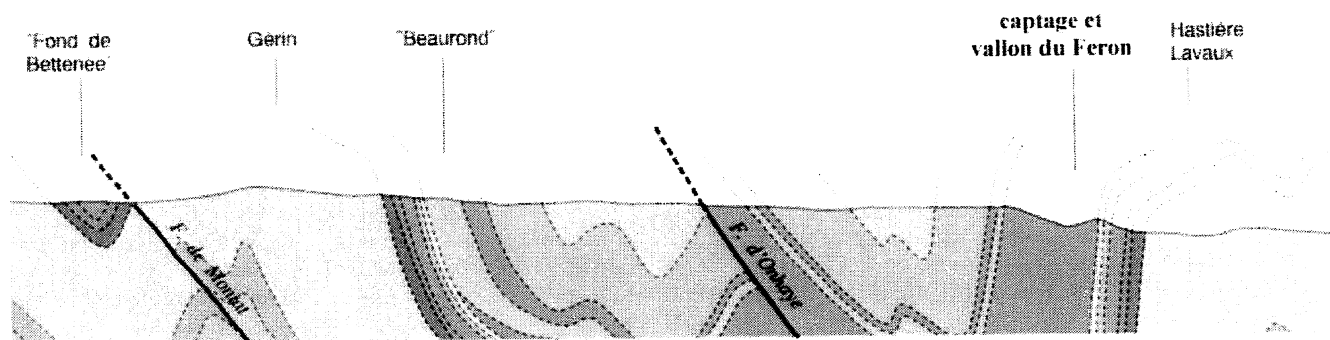


Figure 5 : Coupe géologique Nord Sud à Anghée, montrant clairement les bancs redressés à hauteur du captage dans le vallon du Féron, par Delcambre et Pingot, 1993 (Carte Géologique de Wallonie)

3.6.2. Les points de prélèvement.

Les concentrations de traceurs ont été étudiées à l'aide de prises d'eau plutôt que par accumulation sur un charbon actif. Cette dernière technique est moins consommatrice de main d'œuvre, mais les approximations qu'elle entraîne rendent toute analyse quantitative hasardeuse.

La campagne d'échantillonnages s'est étendue sur presque deux mois (du 05/12/97 au 21/01/98). De nombreux prélèvements ont été réalisés durant les premiers jours grâce aux spéléologues associés à cette activité, ainsi qu'aux bénévoles sur place. De plus, deux échantillonneurs automatiques ont été utilisés (fig. 8). Au total, plus de 1000 échantillons d'eau ont été prélevés durant cette campagne. La carte de la figure 7 reprend les points surveillés.

3.7. Résultats du traçage

Les traceurs fluorescents ont été analysés à l'aide d'un spectrofluorimètre par balayage synchronisé des longueurs d'ondes d'excitation et d'émission.

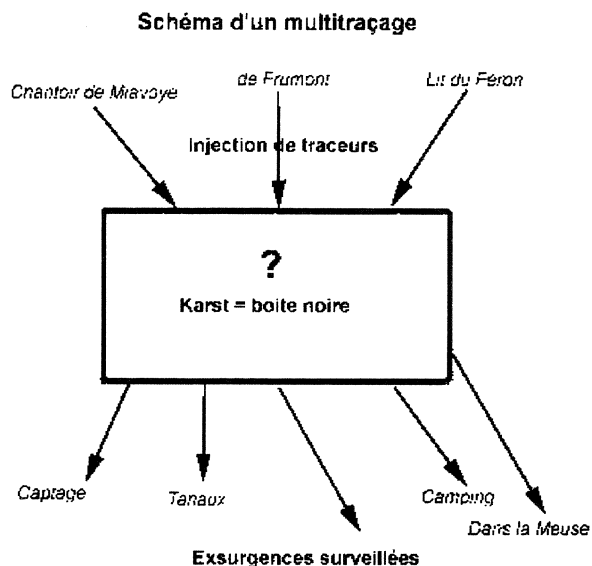


Figure 6 : Approche empirique pour déterminer l'alimentation des différentes résurgences par rapport aux points d'injection

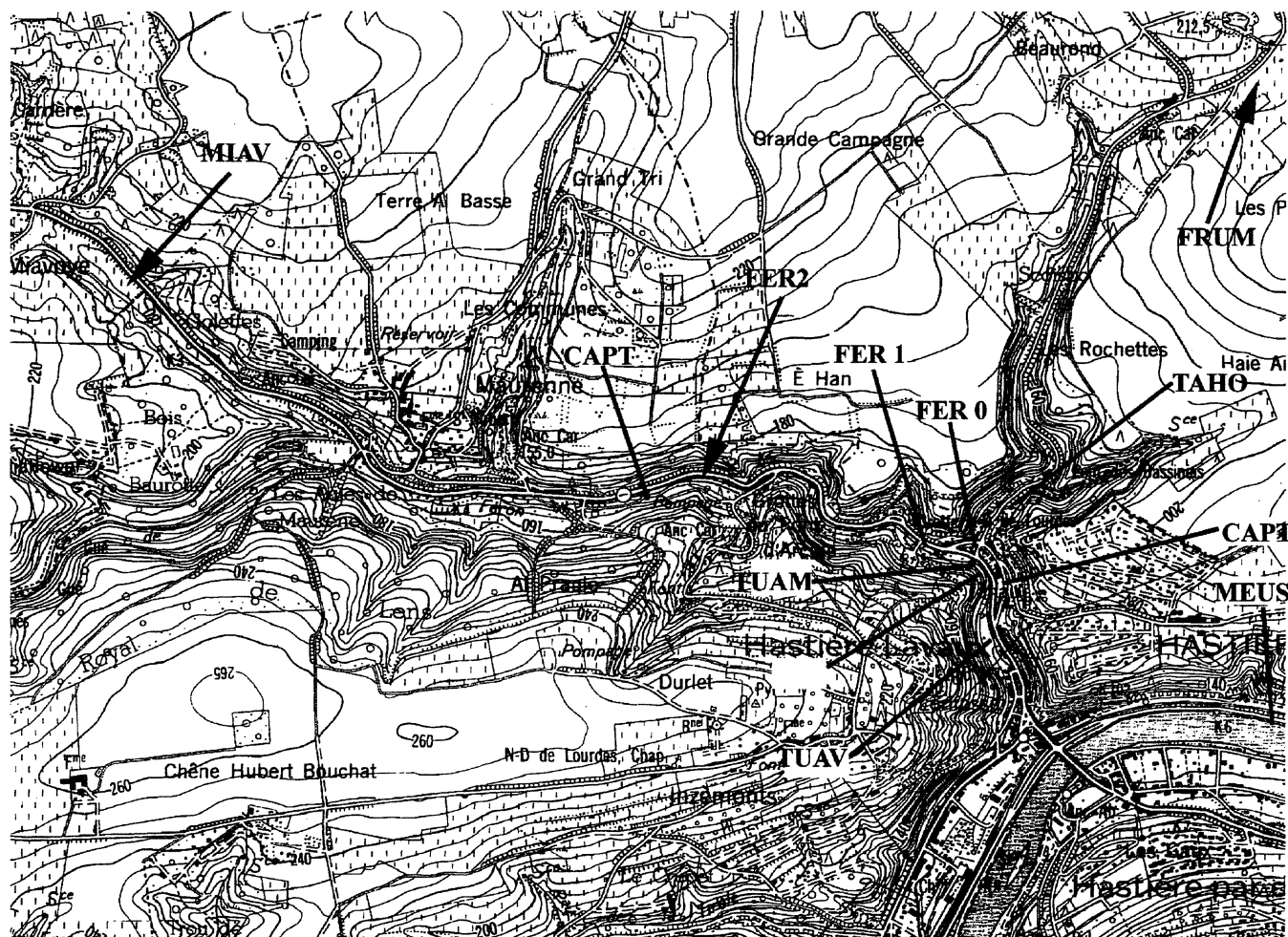


Figure 7 : Carte de localisation des trois points d'injection, codes MIAV, FRUM & FER 2 (les flèches) et des résurgences surveillées durant le traçage, codes CAPT, FER 0-1-3, TAHO, CAMP, TUAM, TUAV, MEUS (les traits).

- 1) la chantoir de Miavove (MIAV) (sulforhodamine B): situé dans l'axe du Féron; cette chantoir absorbe les eaux de ruissellement et les égouts du village. Lors du traçage, une adduction d'eau a été réalisée pour «chasser» le traceur,
- 2) la chantoir de Frumont (FRUM) (urarine): situé sur le plateau de Onhaye, cette chantoir n'est plus alimenté. Pour les besoins du traçage, nous y avons dévié les eaux épurées de la station,
- 3) la perte du Féron (FER2) (naphthionate): située entre le captage communal et les grottes touristiques du Pont d'Arcole.



Figure 8 : Prélèvement d'eau à la Résurgence du Tahaux à l'aide d'un échantillonneur automatique permettant des prises d'eau régulières et sur une longue période.

Le spectrofluorimètre permet de détecter et de doser le traceur à des concentrations largement inférieures au seuil de visibilité.

3.7.1. Restitution de la sulforhodamine B :

La sulforhodamine B, injectée à la chantoire de Miavoye, est réapparue aux points d'eau suivants : FER 0, TUAV et FER 3.

On en a aussi détecté quelques traces aux points d'eau suivants : CAMP et TUAM

Les observations permettent d'affirmer que

- l'émergence FER 0 est bien l'exutoire principal du système du Féron,
- le captage communal CAPT n'est pas en communication avec la chantoire de Miavoye;
- la canalisation TUAV draine principalement des eaux en provenance de l'émergence FER 0,

Malgré une karstification fort développée le long de l'axe du Féron, la sulforhodamine B a mis 8 jours pour atteindre l'exutoire principal (FER 0). Les vitesses obtenues (15 m/h) sont relativement faibles pour un écoulement karstique.

Ce piégeage temporaire explique également l'étalement de la restitution, des traces étant encore détectées dans les derniers échantillons prélevés le 21/01/98.

3.7.2. Restitution de l'uranine :

L'uranine, injectée à la chantoire de Frumont, est réapparue principalement aux points d'eau suivants : TAHO, TUAM, CAMP, FER 3

On en a aussi détecté quelques traces à FER 1 (source dans le lit du Féron face à la chapelle).

Ces observations permettent d'affirmer que

- l'émergence TAHO est bien l'exutoire principal du système du Tahaux;
- la canalisation TUAM draine une venue d'eau de même origine que la résurgence de Tahaux;

Les vitesses obtenues sont de 14 m/h. Comme pour l'autre vallon ceci peut s'expliquer par un passage très lent au travers de la zone non saturée. La chantoire de Frumont n'était plus actif depuis plusieurs années. Les précipitations ont eu une incidence sur la restitution du traceur, entraînant un lessivage progressif de l'uranine

stockée dans la zone d'infiltration, induisant l'étalement de la courbe de restitution. Toutefois, la présence de réserves d'eau importantes pourrait également jouer le rôle de «tampon» pour le traceur.

3.7.3. Restitution du naphthionate injecté dans la perte du Féron.

Le naphthionate est réapparu principalement aux points d'eau suivants : FER 0, TUAV, FER 3. Quelques traces ont également été détectées à TUAM.

Les vitesses sont en effet ici beaucoup plus élevées (200 m/h pour la première arrivée) et la courbe de restitution beaucoup moins étalée. La perte injectée présentait un débit continu suffisant. L'écoulement a rapidement rejoint le drain karstique principal au niveau de la zone noyée. Ces vitesses élevées témoignent d'un fort degré de karstification et de l'absence de réserves d'eaux importantes le long du drain dans sa partie aval.

3.7.4. Etat des captages étudiés

Le captage communal de la route d'Anthée s'est révélé propre, et sans connexion directe avec les points de perte dans lesquels le traçage a été réalisé. Autour de cette important captage, une zone de surveillance a été définie (avec une sous-zone prioritaire correspondant à la zone d'alimentation directe de cette résurgence).

Les informations rassemblées par ces différentes méthodes, croisées avec les données de la nouvelle carte géologique et l'ensemble des études préalables réalisées dans ce périmètre, nous ont amenés à subdiviser la zone de surveillance en trois sous-zones à risques suivant le degré de risques de contamination (voir chapitre sur les zones de surveillance). Les mesures à prendre y sont par conséquent également différentes.

Le captage du camping est alimenté à la fois par une perte qui reçoit les rejets d'une station d'épuration et par un cours d'eau recevant des eaux d'égout. Ceci explique la pollution observée à ce captage, et montre l'urgence d'un traitement des eaux.

3.8. Délimitation de la zone de surveillance globale à Hastière

Le traçage à partir de pertes naturelles du système karstique permet de mettre en évidence et de caractériser les axes privilégiés de drainage souterrain dont il faut tenir compte en région karstique pour délimiter les zones surveillance des captages qu'ils alimentent.

La délimitation des aires d'alimentation dépend de la localisation de ces pertes par rapport aux limites du bassin versant. A Hastière, nous avons donc délimiter la zone de surveillance à partir des relations (perte-résurgence) vérifiées par traçage en les extrapolant sur base des informations géologiques (fig. 9).

La source à l'émergence qu'exploite le captage communal se situe juste à la limite des bancs calcaires redressés et la formation des schistes du Pont d'Arcole (PDA). Cette bande de schistes constitue, du moins dans les conditions du traçage une barrière pour les

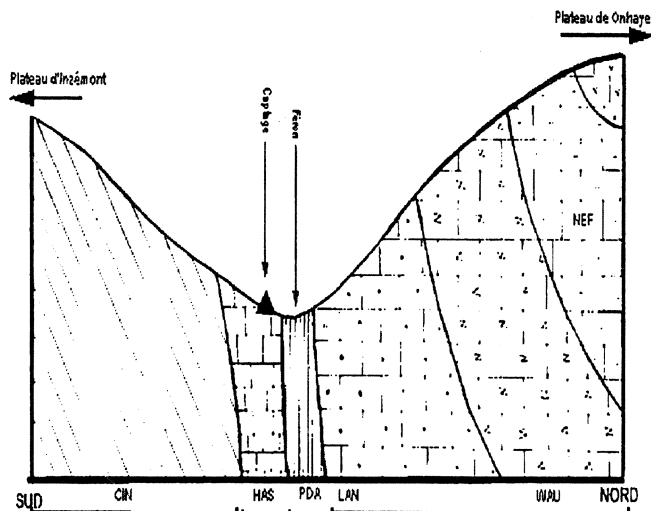


Figure 9 : Coupe nord sud à hauteur du captage, reprenant les différentes zones de surveillance, délimitées sur base de la nature géologique des terrains et le contact +/- direct entre les eaux d'infiltration et le captage

Zone 1= zone de surveillance prioritaire (connexion directe avec la circulation souterraine qui alimente le captage

Zone 2= zone intermédiaire (grès peu perméable, l'eau ruisselle jusque dans le vallon du Tahaux où elle se perd)

Zone 3= zone faible (plateau de Onhaye isolé du captage par la bande de schiste PDA)

écoulements souterrains en provenance des calcaires situés au nord. Le captage draine donc essentiellement l'étroite bande calcaire allongée de la Formation de Hastière (HAS). C'est le trop plein de cette nappe calcaire qui émerge le long de la route d'Anthée à l'endroit où le captage a été implanté.

Les schistes sont une barrière pour les écoulements souterrains, mais non pour les eaux de surface. Dès lors, les écoulements de surface depuis le versant nord du vallon de Féron pourraient contaminer le captage. Pour cette raison, il ne faut pas exclure de la zone de surveillance du captage la partie nord du bassin versant du Féron.

Les eaux qui ruissellent depuis les formations schisto-gréseuses au sud et qui rejoignent le cours du Féron passent in fine en surface à proximité immédiate du captage. Si une infiltration avait lieu depuis le lit du ruisseau, le captage serait également susceptible de subir indirectement des contaminations.

La zone de surveillance doit, par conséquent englober l'entière du bassin versant hydrographique du ruisseau du Féron à hauteur du captage. Mais une hiérarchie dans la surveillance en fonction de la relation plus ou moins directe avec le captage peut être établie.

3.9. Prolongements possibles et recherches en cours

Les traçages à Hastière complétés par un ensemble de relevés en surface et d'analyses de la qualité des eaux nous permettent de mieux appréhender cet aquifère karstique. Des hypothèses quant au mode de fonctionnement de ce système hydrologique et des zones d'alimentation des différentes résurgences ont pu être vérifiées et confortées grâce à ces expériences. Cependant des approfondissements sont nécessaires et cela d'autant plus qu'on se trouve en zone de captage et qu'il

en va donc de la santé des gens. Les traçages réalisés en 1997 l'ont été en période d'étiage, il serait utile de vérifier si des bassins hydrologiques voisins ne peuvent pas communiquer entre eux en période de hautes eaux entraînant des risques de contamination possibles.

Les vitesses de circulation des eaux pourraient également être sensiblement différentes en période de haute eaux. La comparaison des résultats des traçages dans ce même bassin réalisé lors de 2 périodes différentes fournirait de nombreuses informations sur la karstification et le volume de réserve en eau du site.

Il existe à Hastière, en dehors des captages, d'autres sources aux débits TRES importants et qui ne sont pas du tout exploitées actuellement.

Au niveau des débits et de la qualité des eaux, le site d'Hastière offre un cadre très intéressant pour installer une unité de mesure en continu concernant les eaux souterraines.

Du point de vue prospection spéléologique, les traçages ont permis de confirmer certaines relations hydrologiques, ce qui fournit aujourd'hui au Spéleo Club Amateur Inter Province (SCAIP) des indications et des pistes utiles pour orienter leurs recherches.

Tous ces projets de prolongements et d'approfondissement des recherches sont actuellement à l'étude.

4. Conclusion

Le multitraçage réalisé à Hastière avait pour objectif d'étudier les circulations d'eau souterraine de l'entité et de définir la provenance des eaux des différents exutoires du système hydrogéologique des vallons du Féron et du Tahaux. Les injections de traceurs ont été réalisées dans des chantoirs afin d'étudier l'écoulement souterrain suivant les drains karstiques.

Cette étude a démontré qu'en région karstique, et malgré une période de basses eaux peu favorable aux écoulements rapides, des distances de plus de 3,5km ont été franchies par l'écoulement souterrain en 7 jours.

De telles circulations impliquent une attention particulière pour la protection des eaux ainsi qu'un suivi de l'état des lieux des sites karstiques.

Les traçages ont montré une différence de comportement entre le système du Féron et celui du Tahaux. Le système du Tahaux semblant posséder de plus grandes réserves et par conséquent aussi une plus grande inertie que celui du Féron.

L'étude a été réalisée en période d'étiage. Afin de délimiter avec plus de précision la zone de surveillance et les zones de protection autour des captages, il serait recommandable de reproduire le même multitraçage en période de crue.

La présente étude démontre, en tout cas, que la technique du traçage permet de rassembler de très nombreuses informations sur les circulations d'eau souterraine et sur les aquifères qui alimentent les captages en zone karstique. Le recours à cette technique permet notamment de définir scientifiquement, au sein d'un bassin hydrographique, les zones en relation avec le captage en vue d'y concentrer les efforts de surveillance à même d'assurer le maintien de la qualité des eaux souterraines.

5. Remerciements

Ce travail a reçu l'appui généreux et efficace de la Région Wallonne (Direction des Eaux souterraines), qui l'a commandé et des communes de Hastière et Onhaye sur le territoire desquelles il a été effectué.

Nous remercions aussi l'INASEP, et particulièrement Messieurs Lemineur & Bourlon, les agents techniques de l'Intercommunale, de même que Messieurs Henri et Cléda de l'Intercommunale des Eaux de la Molignée. Merci aussi à Monsieur Pêcheur des Eaux et Forêts, pour son aide experte et efficace.

A Monsieur P. Meus de la société Geologica, qui a coordonné les aspects hydrogéologiques de ces tracés et s'est investi sans compter dans cette étude qui, sans son expertise, n'aurait pas pu aboutir.

A l'Université de Liège, notre gratitude va aux Professeurs François Petit et Camille Ek du Département de Géographie physique et à Mademoiselle Annick Jaspar, qui a réalisé la difficile cartographie numérique de nos travaux.

Une telle étude n'aurait évidemment pas été possible sans la participation et l'engagement ferme de toute une équipe sur le terrain. Merci donc aux équipes spéléo du SCAIP, aux étudiants de la Faculté Agronomique de Gembloux et à toutes les personnes qui nous ont accordé leur aide pour cette campagne.

6. Bibliographie

Bonmariage R., Speeleers O., Van Caillie D. & Verrue V., 1998. La problématique de l'eau en région calcaire; cas particulier de la commune de Hastière, Faculté des Sciences agronomiques - travail d'écologie, Gembloux, inédit, 96 p.

Delcambre B. & Pingot J.L., 1993. Carte géologique de Wallonie 53/7-8, Hastière-Dinant, Ministère de la Région wallonne.

Dupont E. & Mourlon M., 1883. Explication de la feuille de Dinant, Bulletin du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique, 2 p.

Lemaire J.M. & Collette P., 1994. Prévention des risques de pollution. Rapport définitif du programme d'étude réalisé dans l'entité de Hastière, Rapport de la Fondation Gouverneur René Close, 70 p., inédit.

Liegeois J.P., 1996. La Fontaine de Tahaux et la grotte de Tahaux, Centre d'activités spéléologiques - Hornu-Borinage. Vadose, 4, 42 p.

Meus P., 1995. Quelques aspects de la mise en œuvre et de l'interprétation des tracés pour la protection des eaux karstiques. Atlas du Karst Wallon. Province de Hainaut, partie orientale, Commission wallonne d'Etude et de Protection des Sites souterrains, 37-46.

Meus P. & Ek C., 1999. Tracing technique as a contribution to karstology experiences, new directions, Contribucion del Estudia científico de las cavidades karsticas al conocimiento geológico, Nerja, 425-440.

Michel G., Meus Ph., Thys G., Ek C., 1999. Le traçage : un outil pour l'établissement des zones de surveillance des captages en terrain karstique. L'exemple d'Hastière (Province de Namur). Bulletin de la Société géographique de Liège, 1999/2 vol 37: 33-47.

Thys G., Michel G., Fairon J., De Broyer C., 1999. Atlas du Karst Wallon, Haute Meuse. Province de Namur Commission Wallonne d'étude et de Protection des Sites souterrains, 542 p.

Van Den Broeck E., Martel E. & Rahir E., 1910. Les Cavernes et les Rivières souterraines de la Belgique, 2 tomes, 1592 +92+LXVI p., Bruxelles.

Les vitesses d'érosion dans les résurgences chimiquement vraies

Jean GODISSART

Centre de Prospection Liégeois
Rue de Cracovie, 19 - 4030 Grivegnée

Résumé

La méthode des plaquettes calcaires est utilisée pour mesurer les vitesses d'érosion dans quelques résurgences vauclusiennes du bassin de Dinant en Belgique. Les différences significatives entre les eaux issues du Dévonien et du Carbonifère sont mises en évidence et discutées.

Abstract

The limestone tablets method is used to determine the rate of erosion in some vauclusian springs in Belgium. Obvious differences between Carboniferous and Devonian springs are pointed out and discussed.

Mots clefs

Belgique - Bassin de Dinant - Résurgences vauclusiennes - Vitesse d'érosion.

Keywords

Belgium - Dinant basin - Vauclusian springs - Erosion rate.

Durant les cycles annuels 1969-70 et 1997-98, des tests aux plaquettes calcaires furent effectués dans 3 résurgences à caractère vauclusien, à savoir: la Fontaine de Rivière à Hamoir-Lassus, la résurgence du Moulin à Comblain-au-Pont et le Trou Bleu à Chanxhe (fig. 1).

Les échantillons de roche issus du calcaire carbonifère sont taillés en plaquettes d'une surface totale de 20cm² et suspendus dans le flux des émissaires pendant un cycle annuel. Les pertes de poids et les vitesses d'érosion correspondantes sont consignées dans le tableau 1.

D'une façon générale, on peut constater que les vitesses d'érosion sont nettement plus faibles dans les deux résurgences du Carbonifère (tableau I, n°2 et 3), que dans celle du Dévonien (tableau I, n°1).

Cette vitesse est fonction de l'agressivité chimique des eaux, mais également de la vitesse de celles-ci et de la température (M. Kupper, 1985). Ce dernier paramètre peut dans ce cas-ci être négligé puisque les écarts entre les trois résurgences sont faibles.

Quant aux vitesses de l'eau, elles sont nettement plus élevées dans les résurgences 2 et 3 et devraient provoquer, toutes autres choses égales, un accroissement de la vitesse d'érosion par rapport à la résurgence (1) du Dévonien.

Or, il n'en est rien, tout au plus peut-on supposer que la vitesse de l'eau plus élevée au Trou Bleu serait partiellement responsable de l'écart entre les pertes de poids des résurgences (2) et (3).

Ces vitesses d'érosion expriment le résultat global ou intégré de l'action chimique sur la roche des eaux souterraines en fin de parcours.

Elles montrent que celles-ci possèdent en tout cas à certaines périodes hydrologiques un potentiel de dissolution ou une sous-saturation non nulle plus importante dans les circulations du Dévonien que dans les aquifères du Carbonifère.

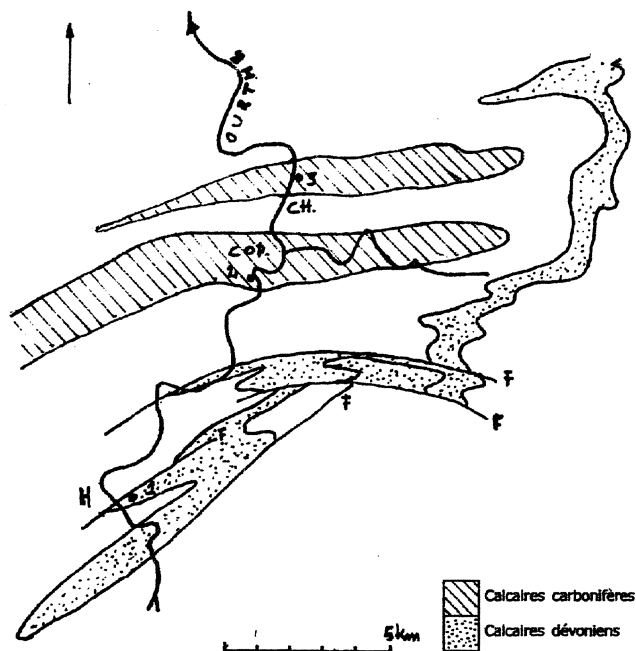


Figure 1 : carte de situation.

F: faille - CH., COP., H.: localités de Chanxhe, Comblain-au-Pont et Hamoir, situées respectivement à 15, 18 et 25 km au Sud de Liège - 1: Fontaine de Rivière, 2: résurgence du Moulin, 3: Trou Bleu.

On sait en effet (C. Ek, 1969, p. 141-144) que les eaux du Condroz qui alimentent les synclinaux carbonifères sont nettement plus dures que celles issues du massif ardennais.

En ce qui concerne le cas précis de la Fontaine de Rivière, les eaux d'alimentation directe proviennent de plusieurs sources issues des grès et des poudingues emsiens, et sont très peu minéralisées ($K(10^\circ)=0,1\text{mS}$), alors que les eaux d'alimentation du Carbonifère accusent une charge nettement plus élevée ($K(10^\circ)=0,4\text{mS}$).

<u>Résurgence</u>	<u>Perte de poids</u>	<u>Vitesse d'érosion</u>	<u>Température</u>	<u>Vitesse du courant</u>
	mg/an	mm/ky	°C	cm/sec.
1. Fontaine de Rivière, 1969-70	100	18,5	9,5	10
1. Fontaine de Rivière, 1997-98	129,1	23,9	9,5	10
2. Résurgence du Moulin, 1997-98	19,9	3,7	10,0	50
3. Trou Bleu 1997-98	38,7	7,1	9,5	90

Tableau 1 : Vitesse d'érosion dans 4 résurgences belges.

<u>Résurgence</u>	<u>R (t)</u>	<u>R (t+1)</u>	<u>dR</u>	<u>Temp.°C</u>	<u>pH</u>	<u>TAC</u>	<u>DHT</u>	<u>Débit</u>
	ohm/cm	ohm/cm				mg/l	mg/l	l/sec.
Fontaine de Rivière	2640	2600	40	10,4	7,08	215	270	25
Trou Bleu	1937	1912	25	10,6	7,15	265	340	157

Tableau 2 : Mesures de variation de conductivité dans l'eau après une heure de contact avec la calcite.

R (t) et R (t+1): résistivité au temps 0 et après une heure de contact avec la calcite.

dR: variation de la résistivité pendant ce temps de contact.

TAC: titre alcalin complet exprimé en mg/l de CaCO₃.

DHT: degré hydrotimétrique total exprimé en mg/l de CaCO₃.

Nous avons également essayé de vérifier si cette agressivité chimique des eaux pouvait être mise en évidence de façon ponctuelle en adoptant la démarche inverse: au lieu de mesurer le déficit annuel pondéral d'un échantillon de roche, si nous mesurons la quantité d'ions passée en solution dans une unité de temps définie en présence de calcite (essai au marbre), nous obtiendrons une évaluation de l'agressivité instantanée.

En pratique, les échantillons d'eau sont prélevés dans un flacon sans bulle en présence de calcite et déposés dans la résurgence pendant une heure. La conductivité est mesurée au pont de Kohlrausch, avant et après le test.

Les résultats sont consignés dans le tableau 2 avec d'autres paramètres chimiques.

On voit que les variations de conductivité apparaissent sensiblement proportionnelles aux pertes de poids

et semblent les confirmer d'autant que ces essais furent effectués dans la même journée et dans des conditions hydrologiques de décrue, c'est-à-dire le long de la courbe de tarissement des résurgences.

Peut-être serait-il souhaitable, dans une démarche ultérieure, de confronter ces résultats avec les indices de saturation calculés à partir des mesures physico-chimiques sur les eaux en tenant compte des forces ioniques et des ions étrangers.

Bibliographie

Ek C. 1969. Facteurs, processus et morphologie karstique dans les calcaires paléozoïques de la Belgique. Thèse de doctorat. Univ. de Liège.

Kupper M., 1985. Les vitesses d'érosion du calcaire dans l'eau. Ann. de la Soc. Géol. de Belg. T. 108 : 261-265

Les variations du radon dans les galeries de drainage du bassin supérieur de la Société Electrique de l'Our (SEO), Vianden (G.D. de Luxembourg)

Francis MASSEN¹ et Antoine KIES²

¹Laboratoire de Physique du Lycée Classique de Diekirch
L9233 Diekirch - Grand Duché de Luxembourg
francis.massen@ci.educ.lu

²Laboratoire de Physique, Centre Universitaire de Luxembourg,
Avenue de la Faïencerie, 162 - L1511 Luxembourg
kies@cu.lu

Résumé

Des mesures de la concentration du radon 220 dans l'air des galeries souterraines sous le bassin de retenue d'eau de la SEO ont montré des accroissements spectaculaires en absence de ventilation forcée; ces variations peuvent être expliquées par la structure des galeries et les valeurs des masses volumiques de l'air à l'extérieur et à l'intérieur. L'intensité du rayonnement gamma de l'air est fortement corrélée à la concentration du radon. Les variations du niveau de remplissage du bassin semblent également avoir une influence sur les changements des concentrations du radon.

Abstract

Measurements of radon 220 concentrations in underground galleries under the artificial lake of the electric company of the Our proved important increases when forced ventilation is off. The radon concentration variations depend on the gallery structure, the natural air movements as well as on the waterlevel variation in the lake.

Mots clefs

Radon 220 - Vianden - G. D. de Luxembourg - Galeries souterraines.

Keywords

Radon 220 - Vianden - G. D. de Luxembourg - Underground galleries.

1. Description du site

La station de pompage de la SEO de Vianden, située dans le Dévonien, est un producteur d'électricité d'appoint. L'eau motrice des turbines est pompée de la vallée vers les bassins supérieurs lors des heures creuses, et actionne les turbines lors des heures de pointe. La variation du niveau de l'eau dans ces bassins est en moyenne de 16,3 m. A environ 2 m en dessous des bassins se trouvent des galeries

de drainage, habituellement sèches; de nombreuses canalisations soit de ventilation, soit d'évaluation d'une eau d'infiltration, aboutissent à ces galeries. Un système de ventilation puissant envoie 520 m³ d'air par heure dans la galerie principale. L'entrée est située environ 12 m en-dessous de la bouche d'un tube de ventilation passive qui part de la partie terminale de la galerie; toutes les caractéristiques d'un tube à vent de faible dénivellation sont donc remplies si la ventilation forcée est coupée (fig. 1).

2. Influence de la ventilation forcée et des conditions météorologiques

En régime habituel de forte ventilation les concentrations du radon 220 sont alors légèrement supérieures à celles de l'air libre; si la ventilation est coupée, ces concentrations augmentent en quelques heures d'un facteur 4 (fig.2).

Cette situation peu spectaculaire connaît cependant des exceptions remarquables : comme le montre la figure 3, les concentrations peuvent brutalement atteindre des pics proches de 40000 Bq/m³. Cette figure montre également la bonne corrélation entre les niveaux de radon et le débit de dose de la radiation gamma prove-

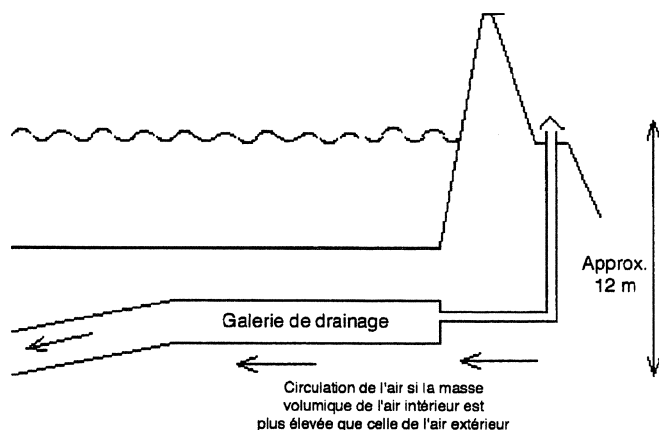


Figure 1 : Situation de la galerie de drainage en dessous du bassin

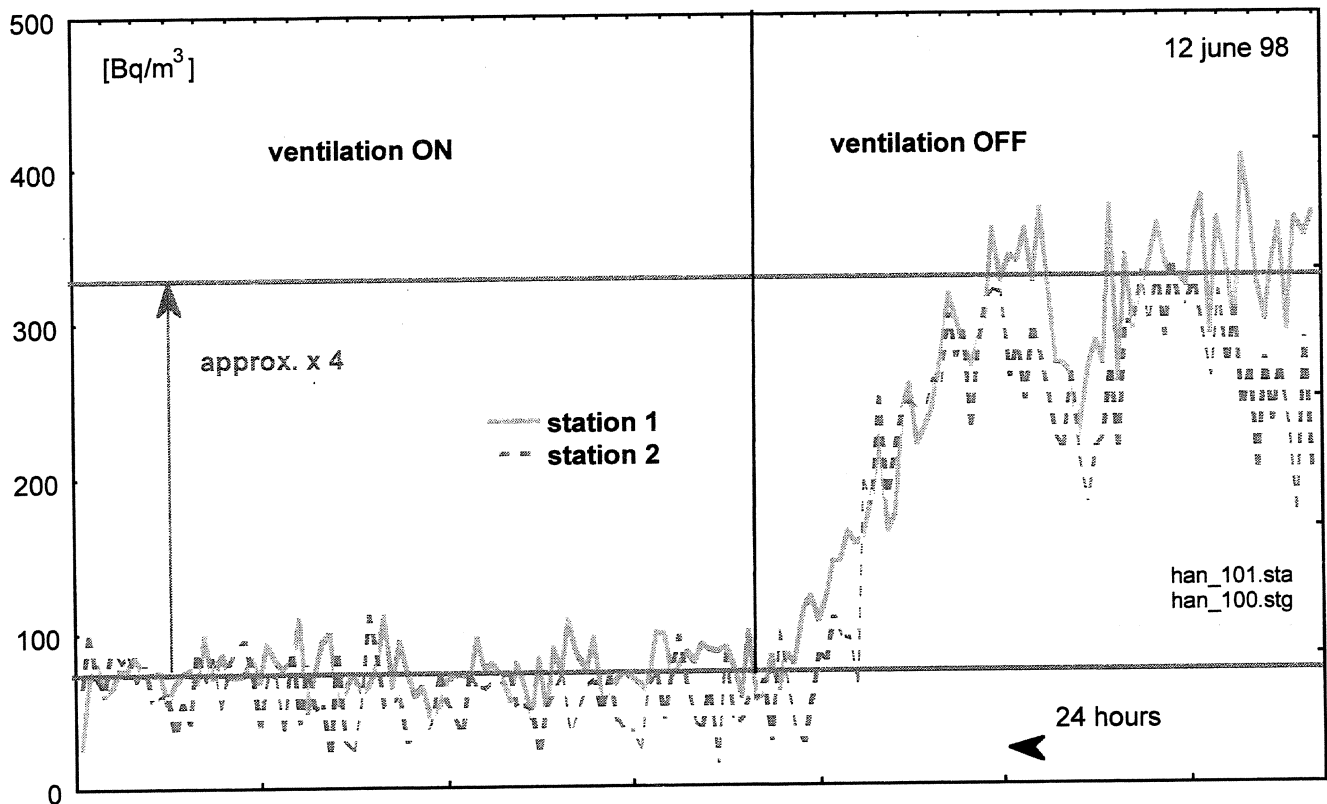


Figure 2 : Concentration du radon en absence et en présence de ventilation forcée

nant essentiellement des descendants radioactifs du radon, mesurés par des compteurs Geiger du type AWARE pilotés par des ordinateurs (fig. 4). Cette corrélation permettra à l'avenir de détecter le signal radon avec des compteurs GM de loin moins chers que les capteurs Alphaguard utilisés pour la mesure directe du radon.

Lors de notre projet de recherche dans la grotte de Moestroff (Massen, 1997) nous avons montré qu'une grotte fonctionne en tube à vent, même si ses ouvertures sont à des altitudes différentes de quelques mètres seulement, et que les concentrations du radon atteignent des pics très élevés soit lorsque la circulation thermique naturelle s'arrête par suite d'une égalité entre les masses volumiques de l'air extérieur et de l'air intérieur, soit lorsqu'elle se fait dans un sens «favorable». Cette situation se retrouve également ici, comme le montre la figure 5.

Le sens «favorable» est ici celui où l'air entre par la bouche de ventilation du tube partant de la fin de gale-

rie vers l'extérieur. Cette circulation descendante aspire l'air qui s'est accumulé dans les nombreux tuyaux de drainage perforés vers la galerie. Or cet air, en contact avec les roches concassées et fissurées, s'est considérablement enrichi en radon, ce qui entraîne les variations brusques mesurées.

3. Influence des variations du niveau de l'eau sur la concentration du radon

L'amplitude de quelques 16 m des variations du niveau de l'eau du bassin situé au-dessus de la galerie provoque des contraintes mécaniques variables importantes. Il est intéressant de rechercher si le signal radon est influencé par ces contraintes; des recherches faites sur les marées terrestres ont clairement montré l'existence du phénomène (Barnett et al., 1997).

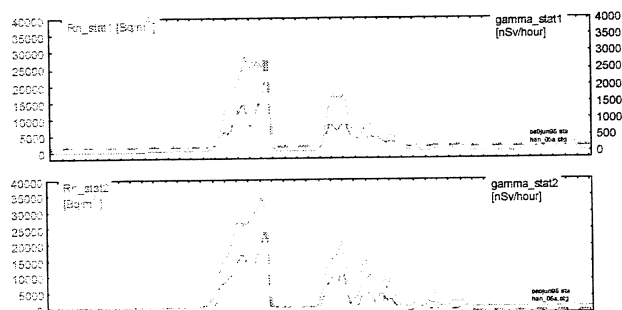


Figure 3 : Pics de concentration du radon et débit de dose gamma mesurés. En haut : station 1 = station la plus proche de l'entrée, en bas: station 2 située en fin de galerie.

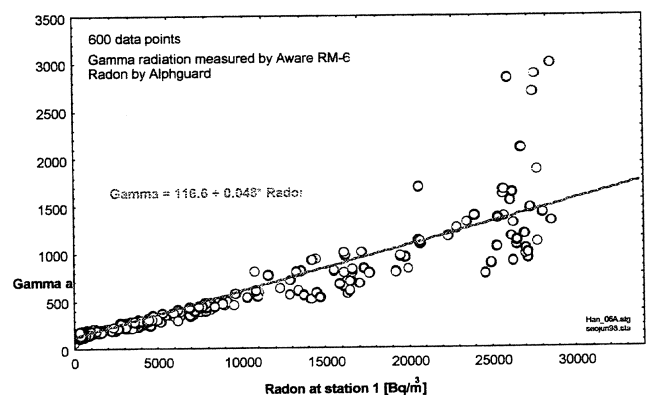


Figure 4 : Il existe une bonne corrélation linéaire entre les niveaux de radon et le débit de dose.

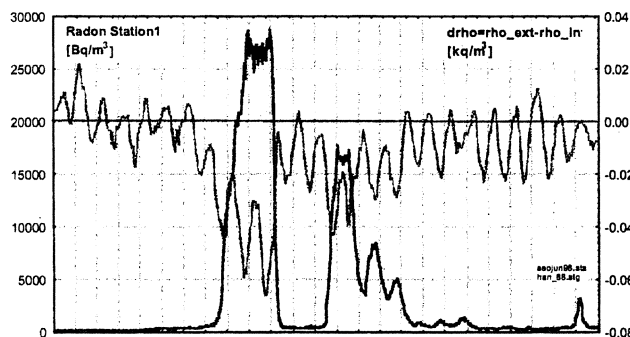


Figure 5 : Concentration du radon et différence des masses volumiques de l'air extérieur et intérieur

La figure 6 montre une observation portant sur 3 jours (22 à 25 juin 1996); la concentration du radon est mesurée dans l'air de la galerie en absence de ventilation forcée.

Cette figure suggère une différence de phase entre les deux signaux : la concentration du Rn semble augmenter si le niveau de l'eau tombe. Cette situation pourrait s'expliquer par un dégazage des roches au moment où les fissures comprimées par la pression de l'eau s'ouvrent lorsque ces contraintes mécaniques se relâchent. Cette analyse sera poursuivie, en déplaçant les instruments de mesure dans un tube de forage de 1 m de profondeur traversant le sol de la galerie pour atteindre la couche rocheuse en-dessous. Ceci permettra, en isolant ce tube par un packer, de nous affranchir de l'influence de la ventilation naturelle ou forcée.

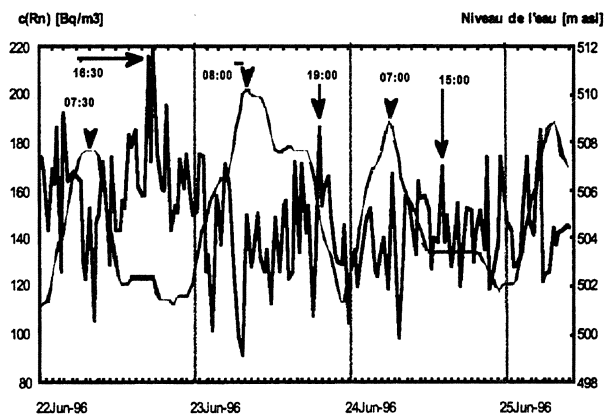


Figure 6 : Concentration du radon dans l'air de la galerie et niveau de l'eau du bassin supérieur

4. Remerciement

Les auteurs remercient la SEO et en particulier son directeur, M. Hubert Weis, de l'appui fourni pour ces travaux de recherche.

5. Bibliographie

Massen F. (éditeur), 1997. The Moestroff Cave. A Study on the Geology and Climate of Luxembourg's largest Maze Cave. Centre de Recherche Public Gabriel Lipmann, Luxembourg. ISBN 2-919900-00-5.

Barnet, Kies, Skalsky & Prochazka, 1997. Radon variations and Earth tides in unventilated underground spaces. Bulletin of the Czech Geological Survey, vol.72(2), p. 105-114.

Puits soufflards et calcul de vides dans un karst couvert : l'exemple du sondage de Ramegnies-Chin, Bassin de Tournai.

Francis MASSEN¹, Michiel DUSAR², Walter LOY³ & Noël VANDENBERGHE³

¹. Laboratoire de Physique, Lycée Classique de Diekirch

L-9233 Diekirch, GDL

². Service Géologique de Belgique

rue Jenner, 13 - 1000 Bruxelles

³. K.U. Leuven, Institut de Géologie

Redingenstraat, 16 - 3000 Leuven

Résumé

Un puits soufflard à Ramegnies-Chin (commune de Tournai) atteint le calcaire carbonifère karstifié, localement dénoyé sous couverture étanche. Une campagne de mesures du courant d'air et des paramètres atmosphériques a permis de constater une corrélation entre la direction du courant et la pression atmosphérique ou la différence des masses volumiques de l'air extérieur et intérieur.

Le volume de vides karstiques en connexion avec le puits au-dessus de la nappe aquifère peut être estimé par une analyse spectrale du courant d'air ou par un calcul basé sur le volume d'air sortant si la pression atmosphérique est constante. Ces estimations suggèrent que la cavité peut atteindre un volume de 700 000 m³. Le volume calculé confirme l'ampleur du karst et les risques d'effondrements futurs.

Abstract

Blowing wells and cave volume computation in concealed karst: the Ramegnies-Chin borehole. The Ramegnies-Chin blowing well (municipality of Tournai) has been drilled in karstified Tournaisian limestones, now affected by vadose water circulation due to lowering of the watertable, underneath an impervious cover. Continuous airflow and atmospheric data measurement has allowed to confirm a correlation between direction of flow and atmospheric pressure triggered by mass difference of internal and external air.

The volume of karstic voids above the Tournaisian water table connected to the well, without any other outlet, can be estimated by spectral analysis of the airflow or by the volume of air flowing in or out under constant atmospheric pressure. These estimates suggest that this particular concealed cave system may attain a volume of 700.000m³. This value gives an indication of the importance of karst development in the Tournai region and of the risk for sinkhole formation by cavity collapse in dewatered karst.

Mots clefs

Belgique - Tournaisis - Karst - Météorologie souterraine.

Keywords

Belgium - Tournai basin - Karst - Cave meteorology.

1. Introduction

Le phénomène des mouvements d'air est bien connu en spéléologie, mais l'est beaucoup moins en hydrologie. Les courants d'air sont généralement causés par un effet de cheminée thermique dans des cavités à plusieurs entrées. D'autres explications existent également : les fluctuations de la pression atmosphérique engendrent un mouvement d'air entrant ou sortant des espaces fermés pour rétablir l'équilibre de pression. Ainsi, des changements périodiques non-saisonniers du courant d'air sont observés dans des cavités «respirantes» à condition que le volume de la cavité soit suffisamment large. Bien que ce phénomène soit également connu dans des puits d'eau, aucune étude n'en avait déduit le développement du karst souterrain. L'étude du système de respiration a permis le calcul du volume des cavités, en contact avec le puits de Ramegnies-Chin.

2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le puits de Ramegnies-Chin a été foré dans les calcaires carbonifères du bassin hydrogéologique de Tournai (fig. 1). Les calcaires tournaisiens, fissurés et karstifiés, y atteignent une épaisseur de 500m et constituent l'aquifère le plus important de Belgique et du Nord de la France. Le niveau d'eau de cet aquifère (qui fut artésien) s'abaisse d'environ 1 mètre par an par les pompes intensifs pour la région transfrontalière de Lille-Mouscron-Courtrai. Les parties supérieures du calcaire, protégées d'une infiltration directe par des couches imperméables, sont touchées maintenant par une circulation d'eau vadose entre Tournai et Mouscron.

Le puits de Ramegnies-Chin est situé 800m au Nord de la localité Pont-à-Chin, commune de Tournai, site d'effondrements karstiques nombreux, observés dernièrement en 1995, à Obigies, sur la rive droite de l'Escaut en face du puits. Le puits n'a jamais servi pour la production d'eau.

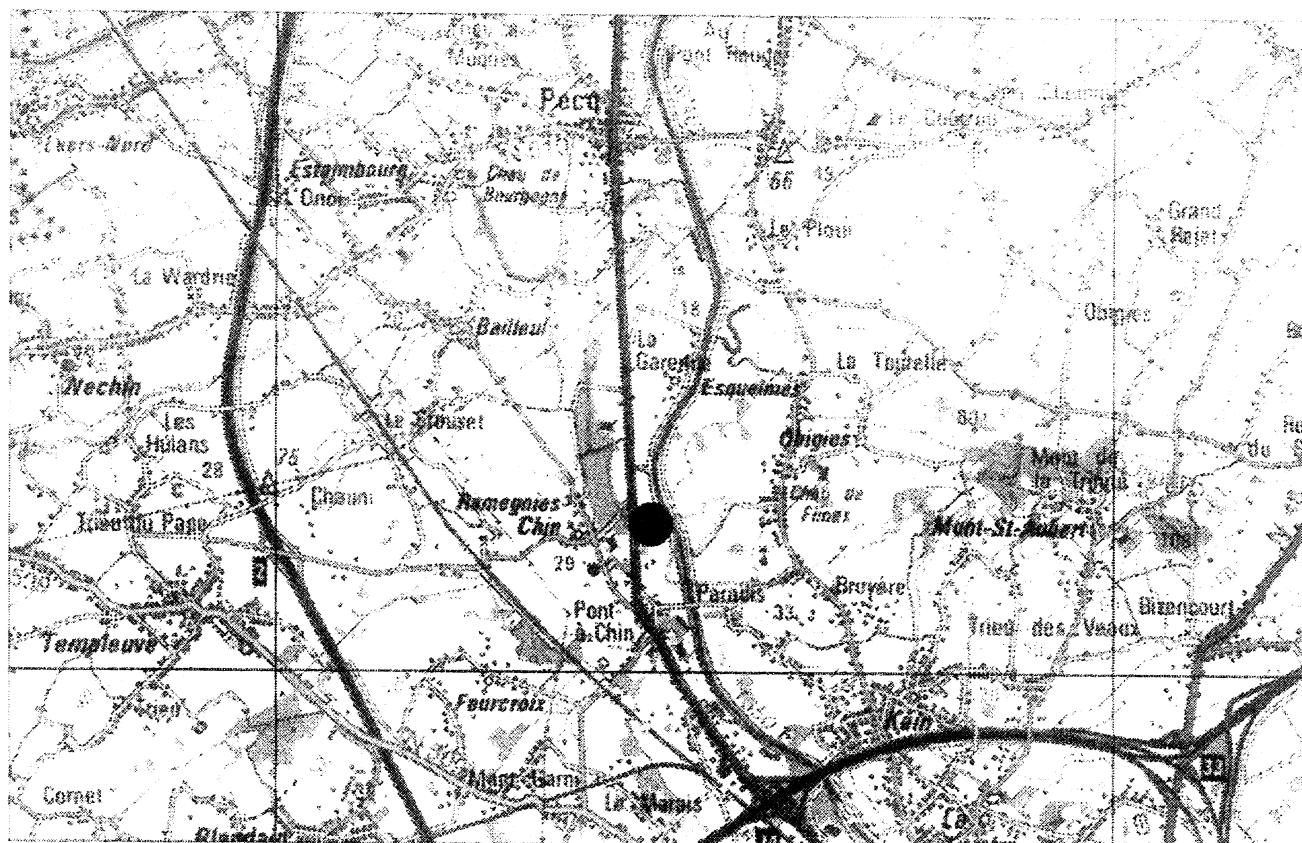


Figure 1 : Localisation du puits soufflard de Ramegnies-Chin

Succession géologique (fig. 2) :

- Quaternaire, dépôts alluvionnaires de l'Escaut couverts de limon, épaisseur 18m
- Crétacé, marnes et grès silicifiés turoniens-cénomaniens, base à 34m
- Crétacé, sables wealdiens avec débris de calcaire silicifié et pyritisé, base à 37m
- Tournaisien supérieur, Formation de Pecq: dolomies atteintes de «karst fantôme» avec remplissage wealdien, jusqu'à profondeur totale de 67.68m

Succession hydrogéologique :

- nappe phréatique, développée dans le Quaternaire
- série étanche du Crétacé (épaisseur 16m)
- nappe confinée du calcaire carbonifère, dénoyée sur 15m, suite à la surexploitation de l'aquifère; les phénomènes étudiés se situent dans cette zone.

Les données suivantes ont été obtenues grâce à l'enregistrement automatisé, installé à la tête du puits du 9.11.1993 au 15.12.1993: pression atmosphérique externe, différence de pression et températures interne et externe. Une valve calibrée permettait le calcul des débits de l'air sortant ou entrant. L'étude réalisée comportait deux parties: l'analyse des enregistrements et la méthodologie du calcul de vides.

3. Analyse spectrale

L'analyse fréquentielle des variations du courant d'air, basé sur le modèle du résonateur Helmholtz, peut fournir une estimation du volume de la cavité. Idéalement, le résonateur Helmholtz est formé d'un volume sphérique se terminant par un tube étroit (qui correspond ici à la partie forée).

Sur les périodogrammes du courant d'air, seuls sont retenus les pics spectraux qui ne se retrouvent pas dans le signal pression atmosphérique (puisque l'on sait que ces deux signaux sont corrélés); les pics restants sont alors interprétés comme des indicateurs d'un régime résonant. La présence d'une longue séquence de pics spectraux témoigne de la forme irrégulière de la cavité touchée par le forage. Le calcul basé sur le premier pic spectral donne un volume de 2.57 million m³, ce qui est énorme pour une cavité belge. Ce résultat doit être pris avec circonspection, puisque le modèle d'un résonateur sphérique est bien éloigné de la forme compliquée d'une cavité réelle. Il faut plutôt le considérer comme une limite maximale des vides possibles.

4. Application de la loi des gaz parfaits

Les mesures contiennent une période de 82 h 45 où le puits continue à souffler, bien que la pression atmosphérique reste à peu près constante. Cette situation ressemble à celle d'une masse d'air enfermée dans un réservoir sous légère surpression, et s'échappant doucement par une ouverture; la surpression et le courant d'air doivent diminuer graduellement. Les lois élémentaires des gaz parfaits et de la mécanique des fluides appliquées aux données de mesures fournissent un volume d'environ 700.000 m³, valeur plausible du volume des vides dans la zone dénoyée communiquant directement et uniquement avec le puits.

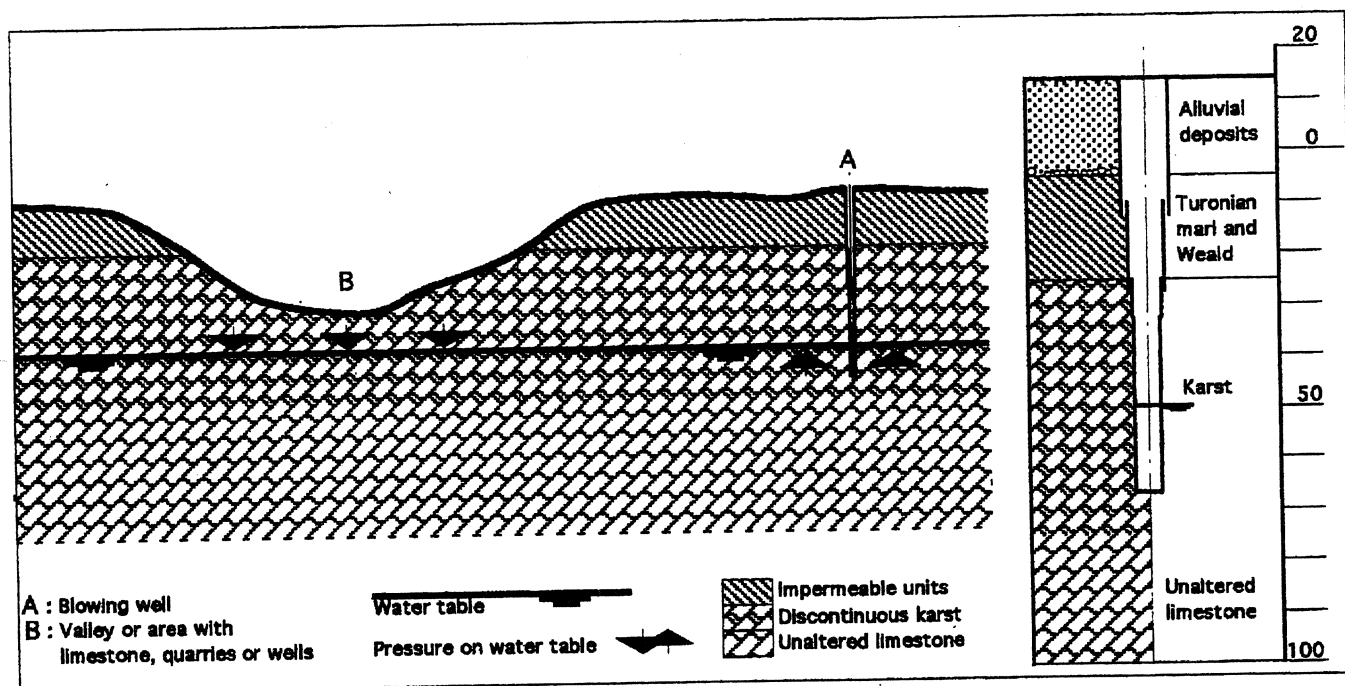


Figure 2 : Coupe schématique (A: puits de Ramegnies-Chin dans la zone à karst couvert; B : zone à karst superficiel, typique pour les environs de Tournai). Hausse de pression atmosphérique pesant sur la nappe aquifère dans des régions à karst superficiel et remontant la nappe aquifère dans les zones à karst couvert. L'air est comprimé dans la cavité isolée par la couverture étanche, et souffle du puits.

5. Comment le puits peut-il respirer ?

Une explication non-équivoque des phénomènes observés n'est pas facile à formuler. Rappelons les particularités du site:

- Paléokarst extensif datant du Crétacé, développé dans le Calcaire carbonifère, clôturé depuis le Crétacé supérieur (voir Quinif et al., 1994).

- Réactivation récente du paléokarst lors du dénoyage partiel de l'aquifère confiné du Calcaire carbonifère.

- Apparition de karst style «vadose» en profondeur, sous couverture étanche (voir Quinif & Rorive, 1992).

- Alimentation de la nappe aquifère du Calcaire carbonifère en régime phréatique ouvert au Sud-Est (région de Tournai).

- Oscillations multiples du niveau d'eau, sous l'influence des pompages, des variations de la pression atmosphérique, des marées terrestres, des événements sismiques. En régime confiné, d'application au puits de Ramegnies-Chin, les oscillations correspondant aux variations de la pression atmosphérique peuvent atteindre une amplitude de 25cm avec des pulsations jusqu'à 2cm par heure (Derycke & Legrand, 1977).

Les hypothèses formulées sont:

- Les zones dénoyées ne sont pas en communication directe avec la surface à travers la couverture étanche, ni avec la zone de recharge latérale, sans couverture. Pourtant, une communication hydraulique existe en zone phréatique profonde.

- Le forage est probablement le seul point d'accès à un système karstique isolé. Le rééquilibrage des pressions atmosphériques interne et externe passe par le clapet de sécurité, utilisé pour les mesures.

- Les courants d'air résultent des oscillations du niveau d'eau de la nappe aquifère.

En conclusions:

- La respiration du puits de Ramegnies-Chin est liée aux variations de pression atmosphérique. Le puits a tendance à souffler quand la pression atmosphérique dépasse 1012 hPa et à aspirer quand la pression descend en dessous de 1012 hPa. La meilleure corrélation existe entre le débit et la différence des masses volumiques de l'air extérieur et intérieur: le puits souffle si la masse volumique de l'air est plus grande à l'intérieur de la cavité et vice-versa.

- Les pressions atmosphériques élevées font remonter la nappe aquifère, produisant un courant d'air sortant, et vice-versa. Curieusement, ce système est le contraire à ce qu'on a pu observer dans d'autres puits du Tournaisis (Gulinck, 1972).

Deux mécanismes peuvent expliquer ce comportement insolite du puits de Ramegnies-Chin:

- Une première explication part des principes suivants: roches calcaires quasi incompressibles, couverture -si présente- absolument étanche, cavités isolées dans la zone à air libre mais en communication hydraulique par la nappe phréatique profonde. Dans ces conditions, la pression atmosphérique «pèse» sur la nappe aquifère dans la région de Tournai où le karst se développe en régime vadose «ouvert», sans couverture imperméable. La surpression repousse le niveau d'eau dans un sens opposé, donc vers le haut, dans les zones confinées sous la couverture imperméable où il n'y a pas d'interaction directe avec l'atmosphère extérieure. Le courant d'air observé à la tête de puits résulte du rééquilibrage de la pression de l'air.

- Une explication alternative est basée sur la présence du karst «fantôme» (Quinif et al., 1994), donnant à la roche altérée un aspect spongieux. La compression du karst fantôme et des sédiments meubles dans

les cavités karstiques, sous régime de hautes pressions atmosphériques, presse les fluides contenus (eau et air) vers le puits qui souffle.

6. Conclusion

La «respiration» du puits de Ramegnies-Chin résulte des variations de la nappe aquifère, causées par les variations de la pression atmosphérique. Dans le cas particulier du puits de Ramegnies-Chin, en connexion avec un aquifère confiné partiellement dénoyé, le niveau d'eau monte si la pression atmosphérique augmente, et le puits souffle. Une situation inverse existe en cas de baisse de la pression atmosphérique.

Le volume de la cavité dénoyée connectée au puits peut être calculé par différentes méthodes. Le calcul basé sur le volume d'air sortant après stabilisation de la pression atmosphérique est considéré comme le plus fiable. Le volume calculé ainsi atteint 700.000m³. En admettant une dénivellation moyenne de 15m pour la zone dénoyée, en régime vadose, et une porosité moyenne de 7% représentant la fraction du karst ouvert par rapport au volume total de calcaire, la cavité peut s'étendre sur une surface de 0.67km². Un pareil développement est plausible dans cette région à karstification intense et polyphasée. Le risque d'effondrements futurs est bien évident tant que les conditions d'exploitation de la nappe aquifère du Calcaire carbonifère ne changent pas.

7. Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien de la Société flamande de distribution d'eau. Les auteurs tiennent à remercier d'abord Camille Ek (C.B.E.K.,

Liège-Luxembourg) qui a rassemblé l'équipe de recherche et Yves Quinif (C.B.E.K., Mons) qui a pu clarifier le développement extraordinaire du paléokarst du Hainaut Occidental. La méthodologie de l'étude est publiée dans les journaux Terra Nova (version abrégée) et Aardkundige Mededelingen (version complète).

8. Bibliographie

Derycke, F. & Legrand, R., 1977. Enregistrements insolites des limnigraphes du Tournaisis: pulsations et hydroseis-mogrammes. Bulletin Société Belge de Géologie, 86: 119-128.

Gulinck, M., 1972. Phénomènes de battement du niveau de l'eau dans le puits de Molenbaix (Nappe du Calcaire du Tournaisis). La Technique de l'Eau, n° 310: 37-41.

Massen F.; Duser, M.; Loy, W. & Vandenberghe, N., 1998 - Cave volume computed on the behaviour of a blowing well (Tournai basin, W. Belgium). Terra Nova, 10-3: 131-135.

Massen F.; Duser, M.; Loy, W. & Vandenberghe, N., 1999 - Blowing wells and cavity volumes in concealed karst: application to the Ramegnies-Chin well in the Tournai hydrogeological basin, western Belgium. Aardkundige Mededelingen, Leuven, 9:111-120.

Quinif, Y. & Rorive, A., 1992. Nouvelles données sur le karst du Tournaisis. Bulletin Société Belge de Géologie, 99: 361-372.

Quinif, Y.; Vergari, A.; Doremus, P.; Hennebert, M. & Charlet, J.M., 1994. Phénomènes karstiques affectant le Calcaire Carbonifère du Hainaut. Bulletin Société Belge de Géologie, 102: 379-394.

La grotte «La Merveilleuse» à Dinant

Camille EK¹, Jean GODISSART², Claire GOSSELIN¹ et Roger VANDENVINNE¹

¹Université de Liège

²Union Belge de Spéléologie

Résumé

Excursion guidée par les auteurs dans la grotte le dimanche 22 novembre 1998 pour les participants à la Journée de Spéléologie Scientifique de la veille.

Abstract

Excursion to the Merveilleuse cave in Dinant, guided by the authors, for the participants of the Journée de Spéléologie Scientifique in November 1998.

Mots clefs

Belgique - Dinant - Grotte touristique de La Merveilleuse.

Keywords

Belgium - Dinant - La Merveilleuse showcave.

1. Historique

C'est en 1904, à l'occasion du creusement de la tranchée du chemin de fer vicinal de Dinant à Florennes, qu'un coup de pioche providentiel mit à jour une cavité, jusqu'alors inconnue. On était au début d'août. Le 15 de ce mois, profitant du congé de l'Assomption, deux ouvriers descendirent dans la galerie et explorèrent la cavité.

A cette époque, trois hommes de science préparaient un livre sur les grottes belges : l'hydrogéologue Emile Van den Broeck, le géographe Edmond Rahir et Edouard Martel, « le père de la spéléologie française. »

Les deux premiers de ces chercheurs, avisés de la découverte, reprirent l'exploration, qu'ils terminèrent, non sans mal, « par une descente périlleuse dans un gouffre inconnu qui plongeait à pic dans un lac dont la profondeur fut reconnue être d'au moins sept mètres. » (Ed. Rahir, s.d.)

2. Situation

La grotte est située en rive droite du ruisseau du Focqeu à 500 m de la confluence de celui-ci avec la Meuse

3. Description

La Merveilleuse répartit ses galeries sur trois niveaux dont les planchers s'étagent entre 155 m et 95 m d'altitude.

La zone d'entrée comporte une série de couloirs qui résultent en grande partie de l'élargissement de diaclases. En certains endroits, la stratification de la roche se distingue très clairement.

Plus loin, les parois de la grotte montrent en de nombreux endroits une roche calcaire conglomératique : une brèche.

Un peu partout, les parois montrent que la roche a été attaquée par la dissolution et que les parties les plus solubles - ou les plus faciles à dissoudre - ont été mises en creux : il y a une dissolution différentielle typi-

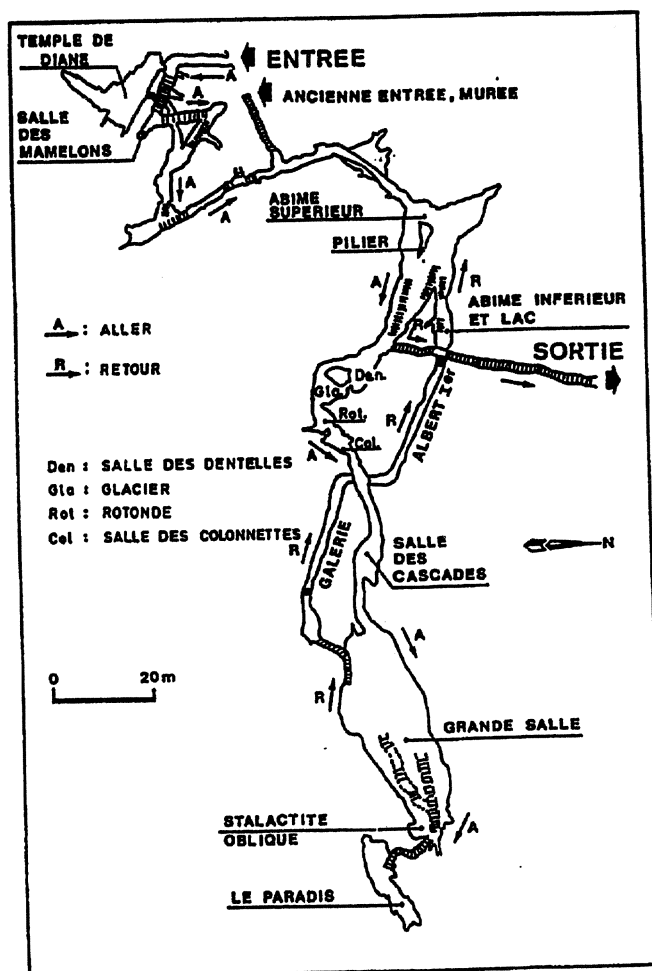
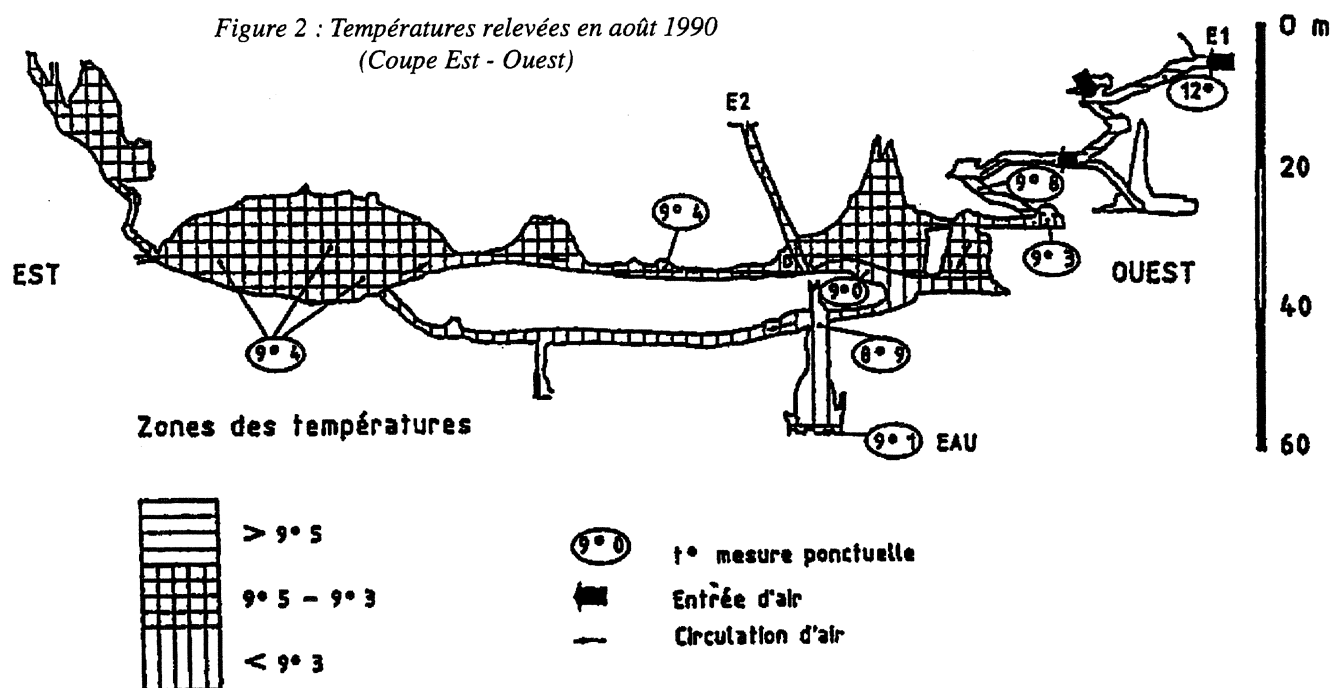


Figure 1 : Toponymie de la grotte et plan de la visite

Figure 2 : Températures relevées en août 1990
(Coupe Est - Ouest)



que des endroits où l'eau circule très lentement. Quand l'eau coule vite, elle tend au contraire à raboter et à régulariser la largeur de son conduit. C'est ce qui distingue la grotte de Dinant des grottes de Han ou de Remouchamps, qui toutes deux montrent en bien des endroits une morphologie de rivière souterraine, pratiquement absente à Dinant. On verra cependant quelques gisements de cailloux roulés, dont une partie au

moins provient de l'Ardenne et a dû faire de nombreux kilomètres avant d'arriver à la grotte.

Enfin, les parties les plus inférieures de la grotte, au fond d'un puits d'une vingtaine de mètres, sont noyées. Le niveau du lac présente des oscillations importantes puisqu'en 1952 il est monté à 30 m au-dessus de son altitude d'étiage.

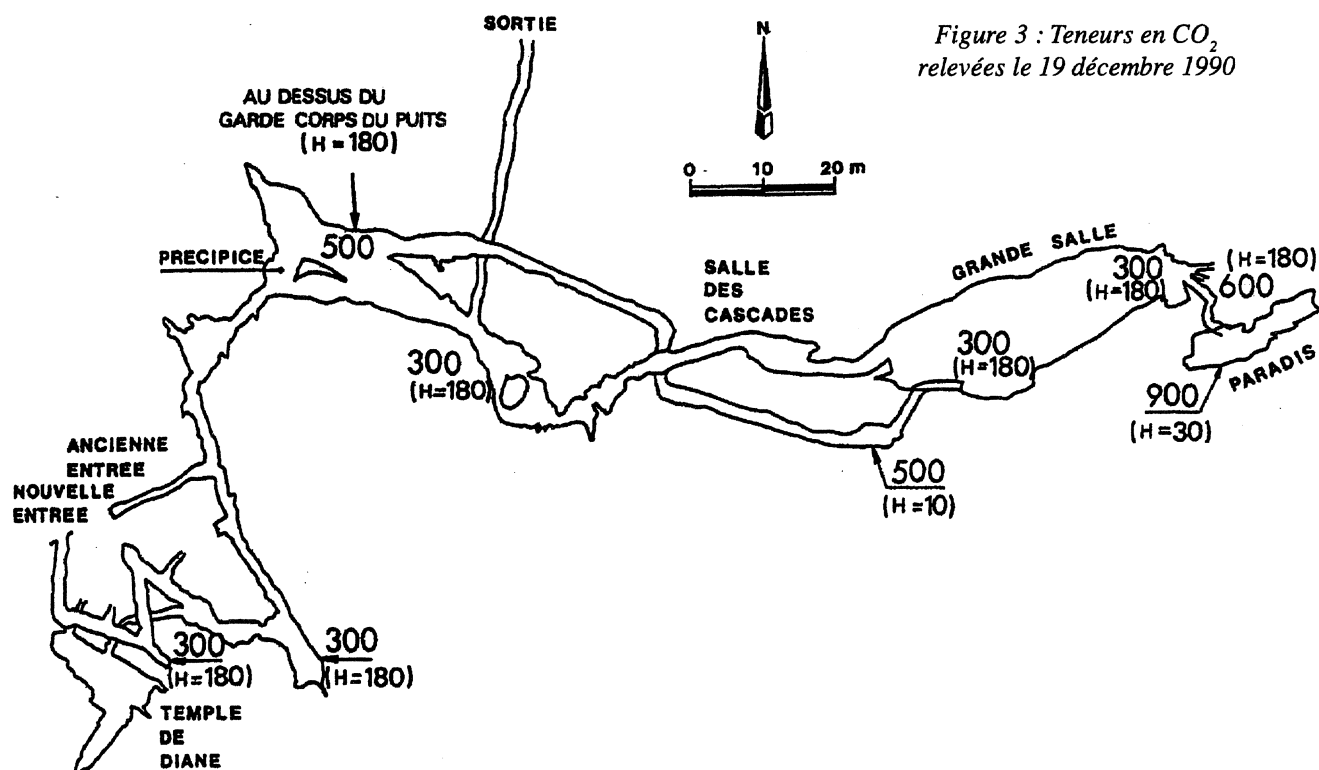
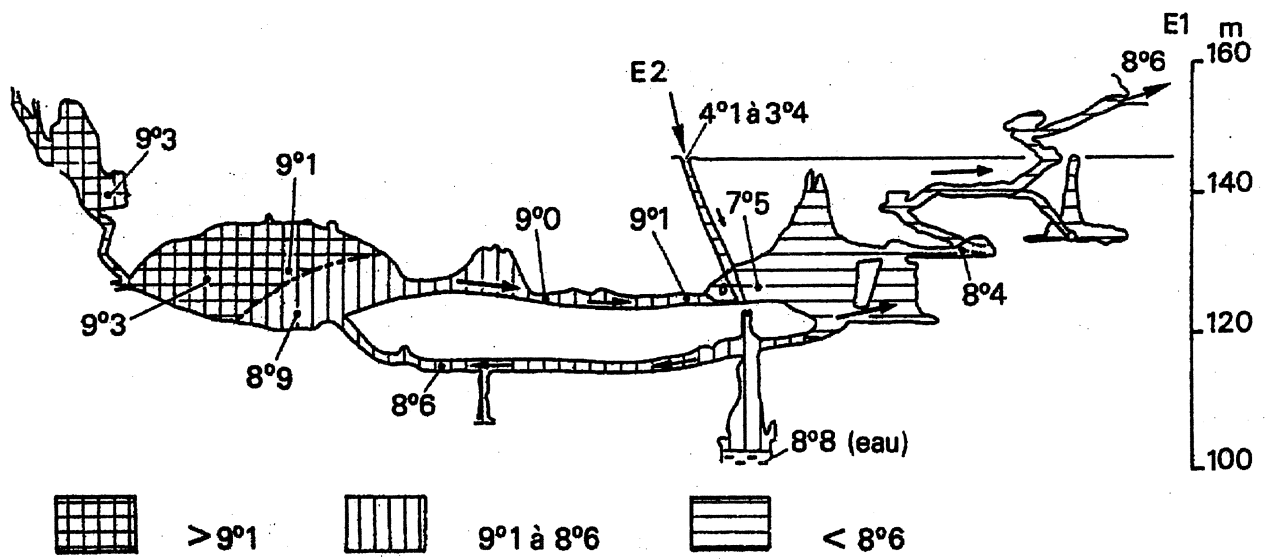


Figure 3 : Teneurs en CO_2
relevées le 19 décembre 1990

E

Figure 4 : Températures relevées le 13 janvier 1991

0



Journée du samedi 20 novembre 1999

(Les présentations **en gras** sont publiées dans les présents actes)

Conférence :

- Les récentes découvertes à la grotte de Goyet, Belgique.
Ignatio LOPEZ BAYON, direction de l'archéologie du Ministère de la Région Wallonne.

Communications :

- Le karst au temps des Iguanodons.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.
- **20.000 ans d'histoire géologique dans la grotte de Han-sur-Lesse.**
Sabine BLOCKMANS, CSARI et Université Libre de Bruxelles.
- Le creusement de la grotte "La Merveilleuse", Dinant, Belgique. Influences structurales et spéléogénèse.
Claire GOSSELIN, Université de Liège.
- **La faune troglodyte de Belgique.**
Michel DETHIER et Jean-Marie HUBART, Laboratoire de biologie souterraine de Ramioul.
- La cartographie des réseaux karstiques par quelques exemples.
Serge DELABY, CSARI et Faculté Polytechnique de Mons.
- **La topographie de précision en milieu souterrain : applications à la grotte de Comblain-au-Pont.**
Serge LAFAYE, Université de Liège.
- Contraintes karstiques en Région Wallonne.
Raymond MICHEL et Frédéric VAN DIJCK, Ministère de la Région Wallonne.
- **Le ravin du Colebi à Dinant.**
Jean GODISSART, Union Belge de Spéléologie.
- **20 ans d'expéditions spéléologiques belges au Mexique.**
Richard GREBEUDE, Spéléo Club de Belgique.
- **Le karst néerlandais.**
Herman DE SWART, Speleo Nederland.
- Quelques aspects de la karstification du plateau de Haye, Lorraine, France.
Benoit LOSSON, Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz.
- Karst et évaporites, le cas du Mont Sedom, Israël.
Eric HALLOT, Université de Liège.

Posters :

- Spéléothèmes pédogénétiques dans la grotte aux Emotions à My, Belgique.
Michiel DUSAR, Service Géologique de Belgique.
- Premières datations absolues de spéléothèmes de cavités de l'Eifel, Allemagne.
Wilfried et Gaëlle ROSENDAHL, Union des Spéléologues Allemands.
- Carte des zones de recherches belges au Mexique. Topos de cavités marquantes.
Richard GREBEUDE, Spéléo Club de Belgique.
- Le karst dans les évaporites : l'exemple du Mont Sedom, Israël.
Eric HALLOT, Université de Liège.
- Essai de topographie souterraine en 3D de précision,
application à la salle de la Cathédrale, grotte de Remouchamps, Belgique.
Gregory HICK, Université de Liège.
- Cartes des contraintes karstiques en Région Wallonne.
Raymond MICHEL et Frédéric VAN DIJCK, Ministère de la Région Wallonne.

Excursion (dimanche 21 novembre) :

- **La grotte du Fayt à Jemelle**
Camille EK, Université de Liège, Sophie VERHEYDEN, CSARI - SCB - VUB et Serge DELABY, FPMs.

20.000 ans d'histoire géologique dans la grotte de Han-sur-Lesse.

Sabine BLOCKMANS

CSARI et Université Libre de Bruxelles

Rue du Serpentin, 28 - 1050 Ixelles

sblockma@ulb.ac.be

Résumé

Les sédiments déposés sous terre (argiles, sables, galets, concrétions) constituent un véritable archivage de l'évolution environnementale de la zone d'alimentation de la cavité qui les contient. L'intérêt de l'étude des paléoenvironnements à partir des sédiments souterrains est notamment qu'ils peuvent être datés de multiples façons. Ainsi, l'étude lithostratigraphique et sédimentologique de trois séries sédimentaires situées dans la zone d'émergence de la Lesse, couplée à différentes méthodes de datation, ont permis de reconstituer l'évolution paléoenvironnementale du massif des grottes de Han durant ces derniers 20.000 ans.

Abstract

The sediments deposited in caves (clay, sand, pebbles, speleothems) are real archives of the environmental evolution of the source region of the cave waters. These cave sediments may be dated by different methods. The lithostratigraphical and sedimentological study of three sedimentological series in the cave of Han, coupled to different dating methods, permit to reconstruct the evolution of the paleoenvironment of the massif of the cave of Han during the last 20.000 years.

Mots clefs

Belgique - Han-sur-Lesse - Sédimentologie souterraine - Climat.

Keywords

Belgium - Han-sur-Lesse - Cave sedimentology - Climate.

1. Quelques principes de la sédimentation souterraine dans nos régions

Les sédiments qui se déposent sous terre ont deux origines principales :

Les rivières qui, selon la force du courant, peuvent transporter des particules d'argile, de sable, voire des galets. La composition de ce type de sédiments dépend de la nature des terrains traversés par la rivière.

Les eaux d'infiltration qui s'insinuent dans les multiples fissures du massif calcaire. Celles-ci transportent des éléments issus de la couverture du massif karstique (sol lessivé) ainsi que des éléments minéraux (argiles,...) ou chimiques issus de la dissolution du calcaire. En débouchant sous terre, d'une part le dégazage de cette eau peut engendrer la formation de concrétions et d'autre part les particules minérales peuvent se déposer.

Au fil du temps, ces différents types de sédiments se superposent dans les galeries souterraines et forment des séries sédimentaires. Celles-ci constituent un archivage de l'évolution environnementale de la zone d'alimentation de la grotte au moment de leur dépôt. En effet, de nombreuses études (Quinif, 1994;...) ont démontré que dans le karst de nos régions dont les dépôts sont quaternaires (période couvrant les derniers 2 MA) les sédiments détritiques (argiles, sables, galets) sont plutôt contemporains des périodes froides et les phases de concrétionnement ou de recreusement des dépôts détritiques antérieurs sont plutôt liés à un climat plus tempéré.

Le moteur de cette évolution est l'importance du couvert végétal du massif karstique (fig. 1).

Durant les périodes froides, le bassin d'alimentation des rivières étant fortement dénudé, celui-ci sera faci-

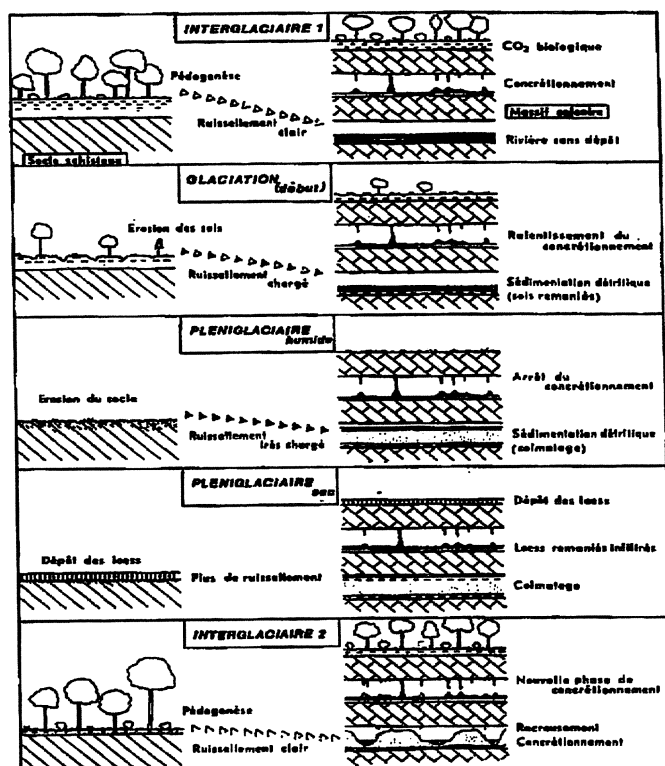


Figure 1: Evolution de la sédimentation souterraine en fonction des conditions climatiques (d'après Quinif, 1994).

lement soumis à l'érosion. Les rivières seront donc fortement chargées de sédiments qui pourront se déposer notamment sous terre. Lorsque le couvert végétal est plus abondant (périodes plus tempérées), l'érosion est moins importante et les rivières peu chargées auront plutôt tendance à recréer les dépôts antérieurs. De plus, une végétation abondante engendre un taux relativement élevé de CO₂ dans le sol, ce qui favorise la formation de concrétions sous terre. Soulignons que l'action humaine sur le paysage joue depuis peu (à l'échelle géologique) de la même façon que le climat sur la dynamique de formation des dépôts souterrains.

L'étude des séries sédimentaires rencontrées sous terre est intéressante à plusieurs titres:

Les dépôts souterrains sont préservés de nombreux facteurs d'altération qui affectent les dépôts extérieurs (pédogenèse, bioturbation, diagenèse,...).

Il existe de nombreuses possibilités de datation des sédiments souterrains (déséquilibre U/Th sur les concrétions, ¹⁴C sur fragments de bois, de charbon de bois ou d'ossements..., étude des associations d'ossements ou de pollens, etc.). Ces multiples possibilités de datation permettent de reconstituer des séquences climatiques ou environnementales corrélables à d'autres séquences telles que celles réalisées sur base des glaces du Groenland, des paléosols ou encore des courbes océaniques.

2. L'évolution géologique de la Grotte de Han-sur-Lesse

La grotte de Han-sur-Lesse constitue un recoupe-ment souterrain d'un ancien méandre de la Lesse dans les calcaires givétiens du Massif de Boine (Delvaux de Fenffe, 1985). La Lesse, au fil du temps, y a déposé d'importantes séries sédimentaires visibles en plusieurs endroits de la grotte. Certains chemins d'accès pour l'exploitation touristique de celle-ci sont creusés au sein de ces dépôts.

L'étude de trois séries sédimentaires situées près du point d'émergence de la Lesse au Trou de Han ont permis de retracer 20.000 ans d'histoire géologique de la grotte (Blockmans et al., 1999).

Cette analyse paléoenvironnementale repose sur les travaux suivants :

Sur place, les coupes mises à jour ont fait l'objet d'une analyse sédimentaire (relation dépôt-environnement de dépôt) et lithostratigraphique (description de la succession verticale et latérale des différents types de dépôts et de leur agencement).

Au labo, des échantillons prélevés au sein des différentes coupes ont fait l'objet d'analyses granulométriques, de lames minces, géochimiques, de flore et faune et de datations.

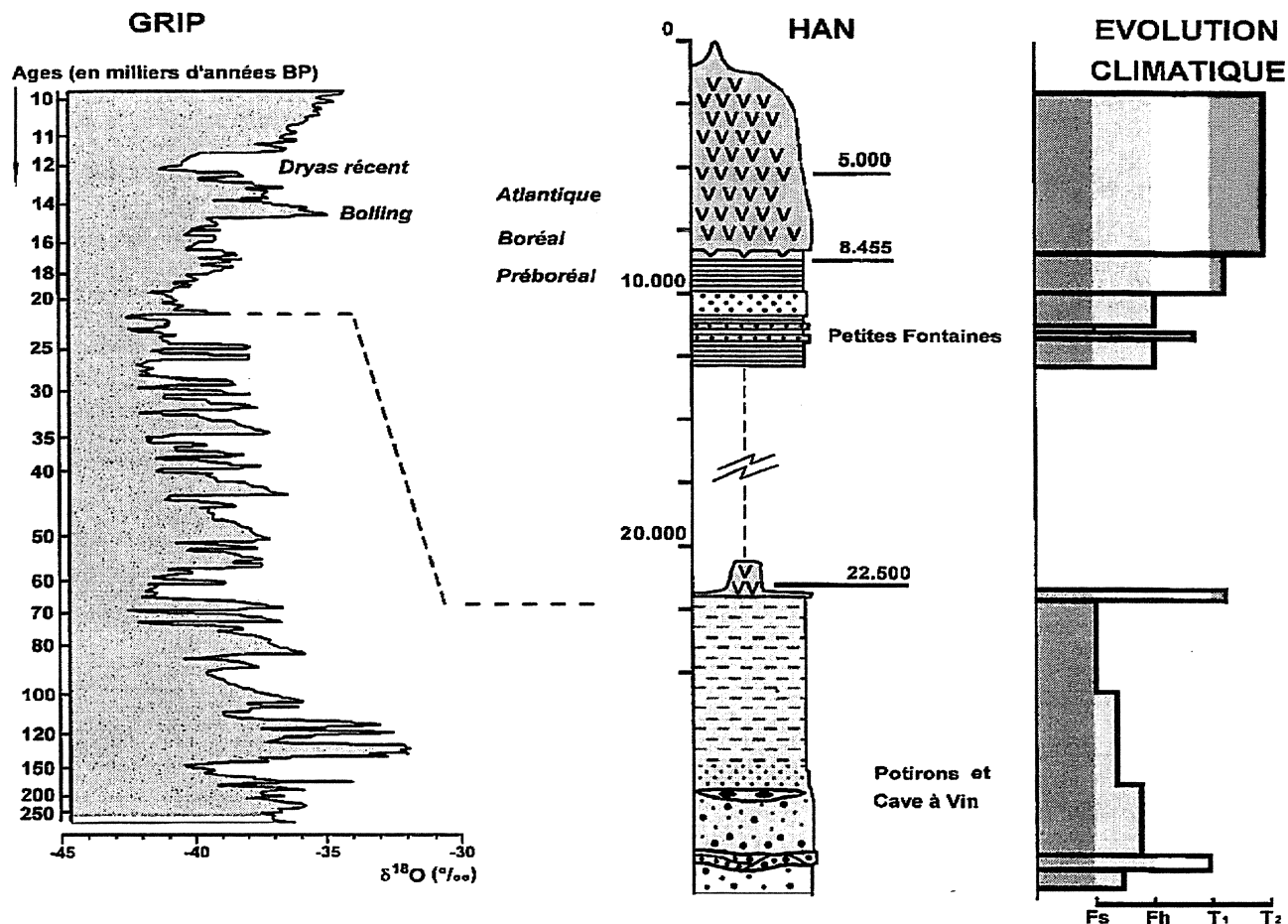


Figure 2 : Evolution climatique et chronologique des sédiments étudiés. De gauche à droite: courbe de variation du (18O des glaces du sondage du GRIP (d'après Dansgaard et al., 1993), la synthèse stratigraphique des sédiments étudiés avec les ,ge trouvés et essai d'évolution climatique (T1 et T2: tempéré frais et chaud; Fh: froid humide; Fs: Froid sec). Dans la deuxième colonne, la position des séries détritiques est indicative, de même que l'évolution du sommet du remplissage de la Galerie des Petites Fontaines. L'hiatus indiqué sur les deuxième et troisième colonnes est dû à l'absence de données et non l'absence de sédiment.

L'ensemble des informations ainsi recueillies nous a permis de retracer une page d'histoire géologique dont les faits principaux sont relatés ci-dessous et synthétisés à la figure 2.

Deux périodes interstadias (courtes périodes plus chaudes durant une période glaciaire froide) ont été mises en évidence dans les sédiments les plus anciens correspondant à la fin du Pléistocène (période du Quaternaire allant d'environ 2 Ma jusqu'à il y a 10.000 ans): la première consiste en un creusement d'une séquence détritique, la seconde en une phase de concrétionnement datée à 22.000 B.P. (datation U/Th).

La période Tardiglaciaire (dernier épisode froid du Pléistocène) se marque par une série d'argiles laminées à traces de gel qui colmatait totalement la galerie. Les argiles sont localement ravinées, ce qui marque le retour d'un climat plus humide.

Cette série est surmontée par un plancher stalagmitique daté par ^{14}C sur charbon de bois à 8.500 BP (Boréal) et qui correspond au début du creusement de la Lesse. Ces événements marquent un réchauffement.

Une stalagmite située sur les berges actuelles de la Lesse témoigne d'un encaissement important de la rivière à l'Atlantique (5.000 BP, datation U/Th).

Signalons enfin la présence d'argiles de solifluxion au sommet d'une des séries sédimentaires qui re-

manient et érodent les sédiments sous-jacents. Ceux-ci contiennent des ossements de batraciens d'âge holocène (c-à-d les derniers 10.000 ans).

3. Bibliographie

Bastin B., 1990. L'analyse pollinique des concrétions stalagmitiques : méthodologie et résultats en provenance des grottes belges. *Karstologia Mémoires*, 2: 3-10.

Blockmans S., Quinif Y., Bini A., Zuccolli, 1999. Dynamique sédimentaire et paléoenvironnements durant la transition Weichsélien - Holocène à partir des dépôts endokarstiques de la Grotte de Han-sur-Lesse (Belgique). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 170, 6: 841-852.

Dansgaard W., Johnsen S., Clausen H.B., Dahl-Jensen D., Gundestrup N., Hammer C.U., Steffensen J.P., Sveinbjørnsdottir A., Jouzel J. & Bond G., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364: 218-220.

Delvaux de Fenffe D., 1985. Géologie et tectonique de Parc de Lesse et Lomme au bord sud du Bassin de Dinant (Rochefort, Belgique). *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 94-1: 81-95.

Quinif Y., 1989. La datation uranium-thorium. *Speleochronos*, 1: 3-22

Quinif Y. 1994. Les dépôts karstiques. Concepts et méthodologies. In: R. Maire, S. Pomel et J.-N. Salomon Ed., *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*. Presses Universitaires de Bordeaux, p. 55-72.

La faune troglobie de Belgique.

Michel DETHIER¹ & Jean-Marie HUBART²

Laboratoire de Biologie Souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul

¹ Rue du Cimetière, 91 - 4030 Grivegnée
michel.dethier@arcadis.be

² Rue de Petit-Fraineux, 40, 4550 Saint-Séverin
jm.hubart@wanadoo.be

Résumé

Cet article fait brièvement le point des connaissances sur la faune troglobie de Belgique et expose un programme de recherches concernant leur réactualisation et l'estimation d'une éventuelle dérive faunique au cours de ces 70 dernières années.

Abstract

This paper attempts to reactualise our knowledge of the troglobiont fauna in Belgium and to estimate faunal drift during the past 70 years.

Mots clefs

Troglobies - Belgique - Dérive faunique.

Keywords

Troglobiont fauna - Belgium - Faunistic drift.

1. La faune cavernicole

Nous avons déjà évoqué les trois grandes catégories d'animaux établies en fonction de leurs relations avec le milieu souterrain (Dethier & Hubart, 2000) :

- les troglaxènes ne viennent dans les grottes que temporairement, pour y passer l'hiver par exemple (certains papillons).
- les troglaphiles passent toute leur vie dans les cavernes et s'y reproduisent. Mais on peut aussi les rencontrer en dehors, dans des milieux similaires, et ils ne présentent pas d'adaptations morphologiques à ce mode de vie (certaines araignées, par exemple).
- les troglobies, enfin, sont les hôtes permanents et exclusifs du milieu souterrain au sens large (pas seulement les grottes pénétrables par l'homme!). Outre des adaptations physiologiques (cycle plus long, durée de vie plus longue, etc.), ils présentent des adaptations morphologiques évidentes : réduction ou perte des yeux, dépigmentation, allongement de certains appendices (pattes, antennes, soies sensorielles), etc. Les *Niphargus*, petites «crevettes» blanches et aveugles de nos grottes et les *Aphaenops*, carabes aveugles des grottes du bassin méditerranéen en sont les exemples les plus connus.

Dans la suite de cet article, qui est une version réactualisée de la communication présentée en 1999, il ne sera plus question que de ces derniers, décrits plus en détail dans d'autres travaux (Dethier, 1998; Hubart & Dethier, 1999).

2. Les troglobies de Belgique

2.1. Catalogues

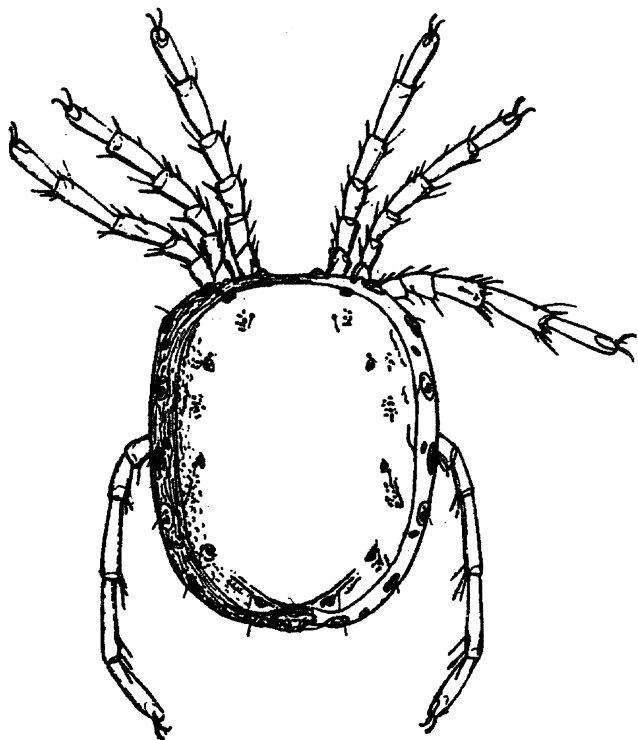
Dans notre pays, les travaux présentant des listes importantes d'espèces troglobies sont hélas assez peu

nombreux : Leruth (1939), Dethier (1998), Delhez, Dethier & Hubart (1999), Dethier & Hubart (sous presse) sont les principales listes de captures d'animaux cavernicoles en Belgique. Il faut heureusement y ajouter des listes plus ponctuelles, par grotte, comme par exemple celle proposée par Delhez, Gilson & Hubart (1973) et Hubart (1982) pour la grotte de Ramioul et les simples listes, sans indications de provenance, publiées par Tercafs (1989, 1991, 1994).

Sur ces bases, Hubart & Dethier (1999) ont dressé une liste de 41 espèces troglobies recensées en Belgique et publié un premier catalogue (avec indications de provenance). Cette liste comprend deux Protozoaires, deux Tricladés (vers plats), trois Oligochètes, dix neuf Crustacés (cinq Ostracodes, quatre Copépodes, huit Amphipodes et deux Isopodes), quatre Hydracariens, quatre Araignées, cinq Collembolés, un Coléoptère et un Gastéropode (Hubart & Dethier, op. cit.).

Cependant, cette liste n'est sans doute pas exhaustive. D'autres espèces sont susceptibles de venir s'y ajouter, soit qu'elles sont présentes dans des régions voisines (Limbourg hollandais, Grand-Duché, etc.), soit qu'un statut de troglobie ne leur a pas encore été reconnu. Nous pensons en particulier à deux espèces de Tricladés (trouvées aux Pays-Bas ou au Grand-Duché), une espèce d'Isopode (trouvée par Leruth mais dont l'identification reste douteuse), une espèce d'Amphipode (citée dans la littérature mais non retrouvée à ce jour), diverses espèces d'Acariens Oribates (actuellement étudiés par X. Ducarme à l'UCL), au moins une espèce de Collembole, citée par Delhez & al. (1999) mais non retrouvée dans la collection. Nous envisageons enfin d'ajouter à cette liste deux espèces du genre *Carychium*

ainsi que *Cecilioides acicula* (Gastéropodes), qui présentent à nos yeux toutes les caractéristiques des troglobies.



Feltria subterranea Viets, Hydracarien troglobie

2.2. Réactualisation et découvertes

Depuis 1998, nous nous sommes fixé pour but de réactualiser les données concernant la faune troglobie de Belgique. Nous avons ainsi entrepris de visiter ou de revisiter un certain nombre de cavités, naturelles et artificielles, et d'y récolter la faune afin de pouvoir répondre aux questions suivantes (Hubart & Dethier, op. cit.) :

- L'absence de données récentes sur les troglobies est-elle due à la disparition ou à la raréfaction de ces espèces ou au manque de recherches dans ce domaine ?

- Comment évolue, depuis les travaux de Leruth, la faune globale (trogloxènes, troglaphiles et troglobies) de certaines cavités étudiées aussi par Delhez ?

C'est un vaste programme et nous n'en sommes encore qu'au début. Conscients qu'à nous seuls, nous ne pourrions couvrir qu'un territoire restreint, nous avons fait appel à la collaboration de nos amis spéléologues et présenté notre projet dans les trois Maisons de la Spéléologie de Belgique. Notre appel a d'ores et déjà été entendu et une dizaine de spéléologues nous ont confié leurs récoltes. Certains souhaitent même nous apporter une collaboration plus régulière et plus pointue. Nous les en remercions très chaleureusement et quelques uns sont déjà cités nommément dans nos travaux (Dethier & Hubart, sous presse). Par la suite, nous espérons pouvoir les associer encore plus étroitement à ce projet.

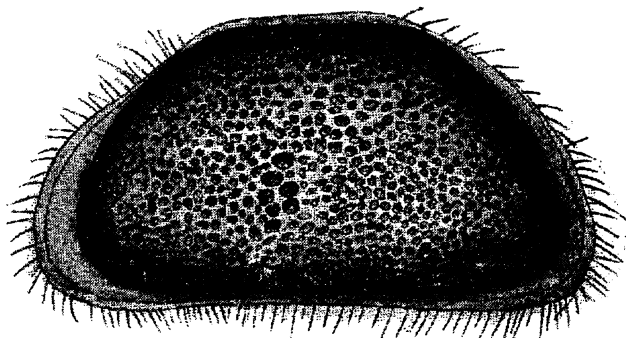
Nous n'allons pas ici détailler les résultats de toutes ces récoltes mais nous tenons néanmoins à vous informer qu'ils sont intéressants et prometteurs :

- Au moins une nouvelle espèce pour la science a été découverte à Lyell en 1999 : il s'agit d'un Diploure (sorte d'insecte primitif), *Litocampa hubarti* (Bareth 1999). Quelques individus du genre *Oncopodura* (Collembolés) représentent peut-être aussi une (ou deux?) nouvelle(s) espèce(s). Ils sont en ce moment à l'étude à l'Université de Toulouse (Deharveng, comm. pers.). Des espèces nouvelles pour la faune belge, troglloxènes et troglaphiles, ont également été recueillies.

- Nous sommes encore loin d'avoir retrouvé toutes les espèces troglobies citées dans notre liste (Hubart & Dethier, op. cit.). A ce jour cependant, nous pouvons signaler la redécouverte d'un ou deux Tricladés, d'un Oligochète, d'un Copépode, des deux Isopodes, de cinq ou six Amphipodes, d'une ou deux Araignées, de deux Collembolés et de *Tychobythinus belgicus* (Jeannel, 1948), «notre» Coléoptère troglobie (Hubart, 1998). Or, tout notre matériel n'a pas encore été étudié (par exemple, les dernières récoltes de 2000) et des groupes entiers (Acarie Méso-stigmatés, Symphytes, Diptères, plusieurs groupes de Vers,...) sont toujours en attente de spécialistes.

2.3. Que reste-t-il à faire?

Bien sûr, nous poursuivons nos recherches et l'énumération ci-dessus, en mettant en lumière les principales lacunes qui restent à combler, va nous permettre de mieux orienter nos efforts. En effet, on constate que ce sont essentiellement les petites espèces aquatiques qui manquent à l'appel : à ce jour, nous n'avons retrouvé aucun Ostracode, aucun Hydracarien, un seul Copépode (sur quatre) et un seul Oligochète (sur trois). Ces espèces non retrouvées jusqu'à présent font partie de la biocénose des aquifères et leur récolte exige l'utilisation de techniques appropriées (filets de dérivation, nasses, pompe de Bou-Rouch), peu utilisées ou inconnues du temps de Leruth.



Pseudocandona zschokkei (Wolf), Ostracode troglobie

Nous n'avons pas non plus retrouvé les deux Protozoaires, mais en fait nous n'avons pas non plus procédé à des prélèvements d'eau permettant de recueillir et d'étudier ces animaux unicellulaires et microscopiques.

Parmi les espèces terrestres, des Araignées et surtout plusieurs Collembolés manquent encore à l'appel. Il est vraisemblable que ces espèces fréquentent le milieu souterrain superficiel et n'apparaissent qu'occasionnellement dans les parties pénétrables des grottes. Aussi nous sommes nous mis à l'étude (pénible et laborieuse!) de ce milieu. Enfin, les nappes d'argile vier-

ges, non compactées par des centaines de pieds botés (y compris les nôtres!), constituent un milieu très favorable, voire indispensable, à la vie de certains cavernicoles, ainsi que l'a montré Hubart (p. 46). Elles retiennent également toute notre attention.

3. Bibliographie

Bareth, C., 1999. Une nouvelle espèce de *Litocampa* découverte dans une grotte de Belgique (Diploures Campodeidae). Bull. Chercheurs Wallonie, 39 : 9-13.

Delhez F., Dethier M. & Hubart J.-M., 1999. Contribution à la connaissance de la faune des grottes de Wallonie. Bull. Chercheurs Wallonie, 39 : 27-54.

Delhez, F.; Gilson, R. & Hubart, J.-M., 1973. Etude préliminaire de la grotte de Ramioul. Bull. Chercheurs Wallonie, 22 : 329-349.

Dethier, M., 1998. La collection Delhez. 1. Catalogue provisoire. Bull. Chercheurs Wallonie, 38 : 33-76.

Dethier, M. & Hubart, J.-M., 2000. La récolte de la faune cavernicole. Regards, 38 : 2-5.

Dethier, M. & Hubart, J.-M., sous presse. La collection Delhez. 2. Corrigenda et addenda. Bull. Chercheurs Wallonie.

Hubart, J.-M., 1982. Compléments à l'inventaire faunistique de la grotte de Ramioul. Bull. Chercheurs Wallonie, 25 : 341-345.

Hubart, J.-M., 1998. *Tychobythinus belgicus* (Jeannel, 1948) (Coleoptera Pselaphidae). Découverte d'une nouvelle station. Bull. Chercheurs Wallonie, 38 : 89-92.

Hubart, J.-M. & Dethier, M., 1999. La faune troglobie de Belgique : état actuel des connaissances et perspectives. Bull. Soc. r. belge Ent., 135 : 164-178.

Leruth, R., 1939. La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique. Mém. Musée r. Hist. nat. Belg., 87, 506 pp.

Tercafs, R., 1989. Etat actuel des connaissances sur les Invertébrés cavernicoles de Belgique. Proposition d'une prospection raisonnée par analyse de la banque informatisée du karst. C.R. Symposium «Invertébrés de Belgique», Bruxelles 1988 : 409-413.

Tercafs, R., 1991. Bilan et perspectives de la protection des habitats souterrains et des espèces cavernicoles de Belgique. Bull. Chercheurs Wallonie, 31 : 139-150.

Tercafs, R., 1994. Belgique. Encyclopedia Biospeleologica, Soc. Biospéol., vol I : 611-617.

La topographie de précision en milieu souterrain : application à la grotte de Comblain-au-Pont

Serge LAFAYE

Rue des Peupliers, 9 - 4800 Verviers
lafaye_serge@hotmail.com

Résumé

Réalisation de levés topographiques en vue d'établir une cartographie précise de la grotte de Comblain-au-Pont..

Abstract

Topographic measurements in the cave of Comblain-au-Pont lead to the detailed mapping of the cave.

Mots clefs

Grotte de Comblain-au-Pont - Topographie.

Keywords

Comblain-au-Pont showcave - Theodolit - Topography.

1. Introduction.

Le cheminement extérieur et le rattachement à un point géodésique nous a permis de localiser la grotte dans le système de référence Lambert 72. L'altitude du seuil de l'entrée de la grotte a été définie à 173,715 m.

2. La spéléométrie

Le cheminement conduisant à la construction de l'ossature de la cavité a été réalisée en utilisant un théodolite électronique : précision de 5 mm + 5 ppm sur la mesure des distances et de 2 mgons sur la mesure des angles. De nombreux rivets ont été implantés dont la localisation et les coordonnées sont connues avec précision.

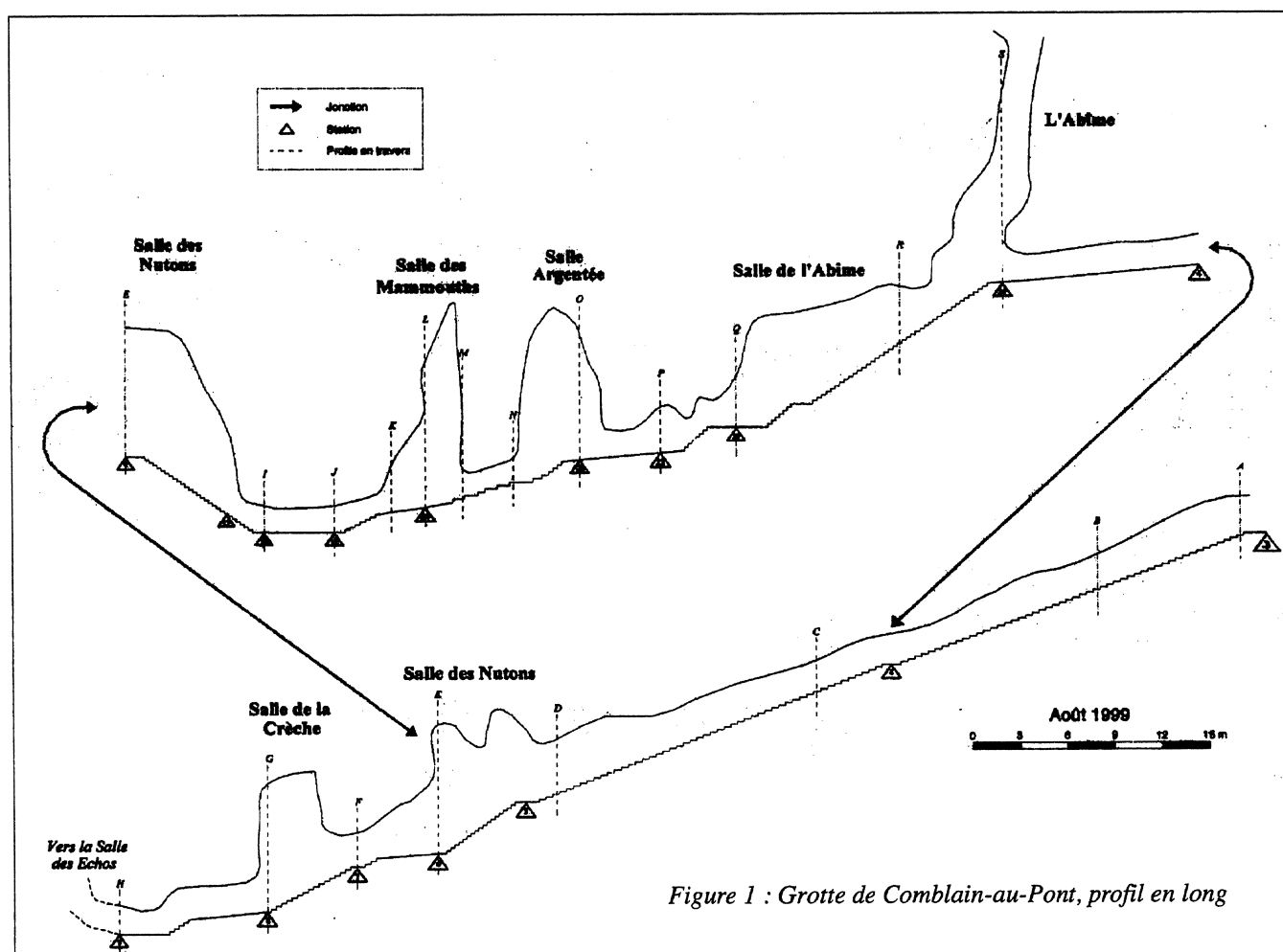


Figure 1 : Grotte de Comblain-au-Pont, profil en long

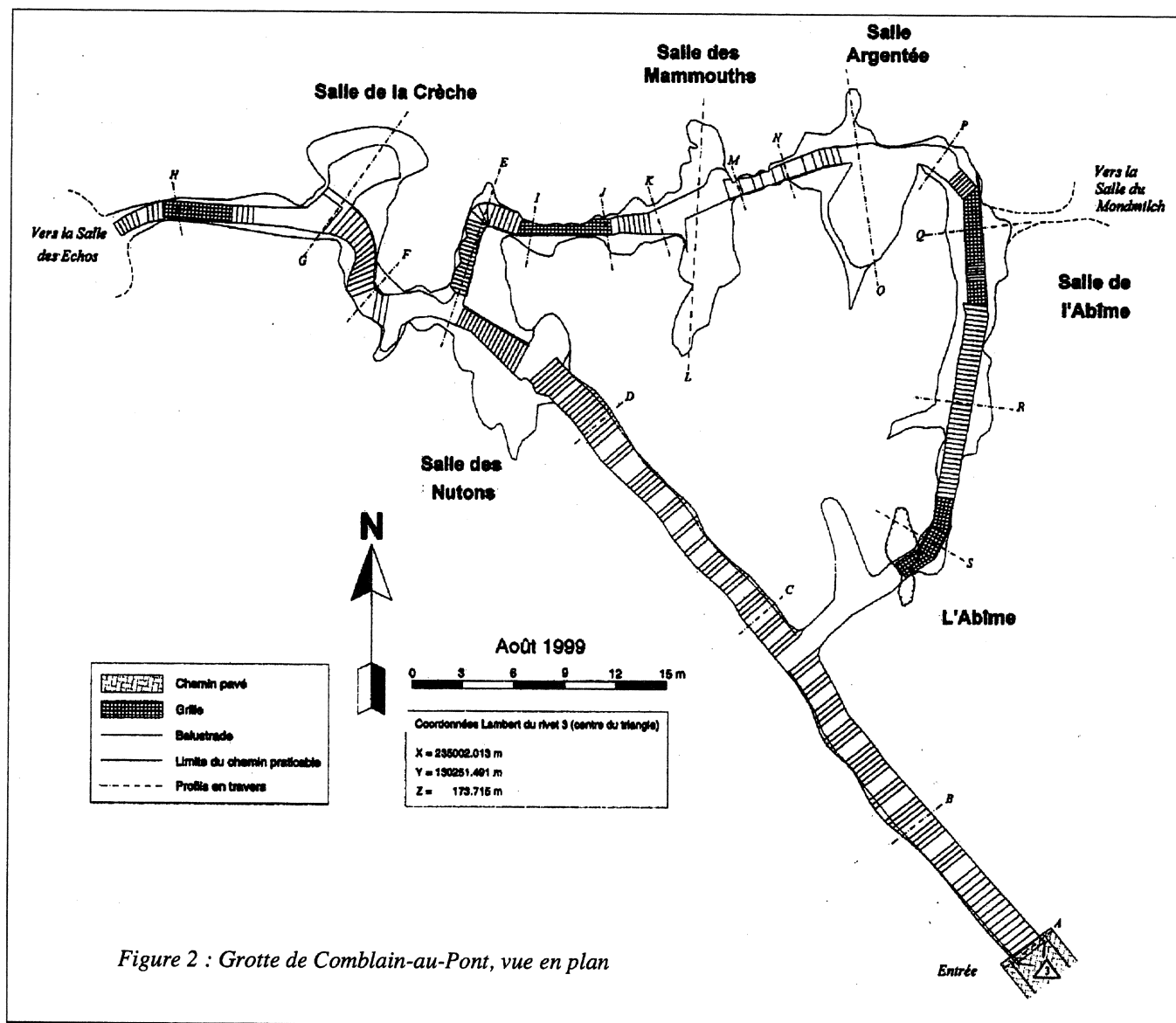


Figure 2 : Grotte de Comblain-au-Pont, vue en plan

3. La spéléographie

La représentation de la morphologie des salles et des galeries) a été effectuée avec un distance-mètre à laser : précision de 3 mm à 30 m. A côté des nombreux avantages de cet instrument, notamment le fait qu'il permette de travailler seul, la grande faiblesse à l'heure actuelle est qu'il ne permette pas l'enregistrement des données. La retranscription des données dans le logiciel en vue de réaliser le plan est dès lors fastidieuse.

4. Conclusion

Une méthode pratique de levé a été mise sur pied pour permettre au topographe de construire

un dessin qui traduit les principaux aspects d'une cavité souterraine (fig. 1 et 2).

Les critères identifiés sont différents suivant le travail dans une salle ou dans une galerie.

Une vue en plan, un profil en long et de nombreux profils transversaux d'une partie de la grotte ont été dressés (Lafaye, 1999).

5. Bibliographie

Lafaye S., 1999 Levés topographiques en milieu souterrain. Application à la grotte de Comblain-au-Pont. Mémoire de licence en sciences géographiques. Université de Liège. 99 p. + 125 p. d'annexes.

Le ravin du Colebi à Dinant

Jean GODISSART

Centre de Prospection Liégeois
Rue de Cracovie, 19 - 4030 Grivegnée

Résumé

La vallée sèche du Colebi est située à 5 km au Sud de Dinant, sur la rive droite de la Meuse. Sur le plateau, près du village de Falmignoul, l'eau de surface se perd et réapparaît 1350 m plus loin, près de la Meuse. La vallée recoupe des calcaires carbonifères. En milieu de pente, plusieurs lasuis, séparés par des ressauts, sont entourés de petites grottes. Cette morphologie est analysée et des hypothèses sur sa génèse sont émises.

Abstract

The dry valley named Colebi, lies 5 km south of the town of Dinant (Belgium) on the right bank of the river Meuse. On the plateau, near the village of Falmignoul, surface waters are swallowed by a sinkhole and reappear 1350 m further, close to the river Meuse. This valley cuts Carboniferous limestones and in the middle of its slope on a restricted area are displayed several deep pools separated by steepes and surrounded by many caves. The morphology is analysed with an attempt to explain its origin.

Mots clefs

Dinant - Vallée sèche - Karstologie.

Keywords

Dinant - Dry valley - Karstology.

1. Situation

Le ravin du Colebi, affluent de la rive droite de la Meuse à hauteur du village de Falmignoul, se trouve à 5 km à vol d'oiseau au sud de la ville de Dinant. Le ravin est orienté SW-NE et recoupe en cluse les dépôts carbonatés du Carbonifère qui forment dans cette région un pli synclinal d'axe E-W, dont le flanc Nord est entaillé par le canyon. Les nombreux affleurements exposés appartiennent pour la plupart à l'étage Tournaisien à faciès Waulsortien (calcaires massifs passant latéralement à des calcaires stratifiés et des dolomies stratifiées à cherts). A la cote 185m., les eaux du ruisseau de Falmagne s'engouffrent dans la chantoire de La Prée et résurgent au Ry des Naiwis à proximité de la rive droite de la Meuse, à 1350m à vol d'oiseau et à quelques 100 mètres en contrebas (fig. 1).

Le vallon sec se subdivise naturellement en 3 sections de pentes différentes, à savoir, d'aval en amont (fig. 2) :

1 - une section AB de 475 m. de longueur et de 7,8% de pente moyenne et régulière ne présentant aucun phénomène karstique à notre connaissance, mais fortement encaissée avec un abrupt rocheux en rive droite.

2 - une section BC de 125 m. de long à pente moyenne de 30% où affleure le bedrock et qui constitue le canyon proprement dit contenant les "cuves" ou marmites de géant.

3 - une section CD, depuis l'amont du canyon jusqu'à la capture qui présente un profil voisin de l'équilibre avec 2,8 % de pente.

Enfin, sur la figure 3 est exposée la section BC qui contient le fragment de canyon.

D'aval en amont, celui-ci commence par un

abrupt de plus de 5 mètres prolongé par une pente rocheuse inclinée à 18% et suivie d'une section à pente plus raide de 44% où l'on peut observer les "cuves" ou marmites de géants. Celles-ci au nombre de cinq sont disposées en chapelet et enchâssées dans les parois calcaires à flancs verticaux ou surplombants, leur dimension est métrique et elles sont séparées par des abrupts de un à plusieurs mètres de hauteur. Elles présentent toutes un surcreusement d'une profondeur de 30 cm à 90cm et se terminent vers l'aval par un rebord. La morphologie rappelle, à l'échelle près, celle des gorges calcaires telles qu'on peut les observer entres autres dans les Pyrénées du pays basque.

Sur le profil BC, nous avons projeté les principaux orifices de cavernes, celles-ci occupent une surface relativement restreinte du vallon puisqu'elles sont contenues dans un rectangle de 120 m. sur 40 m. de hauteur.

Ces différents appareils karstiques ainsi que leur position respective appellent quelques commentaires :

1 - les différents orifices affleurent le long des parois abruptes du canyon, pratiquement à la verticale du thalweg pour la plupart d'entre eux. On serait donc en droit de considérer que leur position n'a guère changé au cours de l'encaissement du ravin. D'autre part, ils s'organisent en différents groupements corrélables avec les niveaux de terrasses quaternaires étudiés par P. Macar et ceux qui correspondent à l'altitude moyenne de 65 m. au-dessus de la Meuse sont alignés sur une série de formes d'érosion latérale visibles à l'amont du ravin et qui sont sans doute d'anciennes cuves recoupées par l'incision verticale.

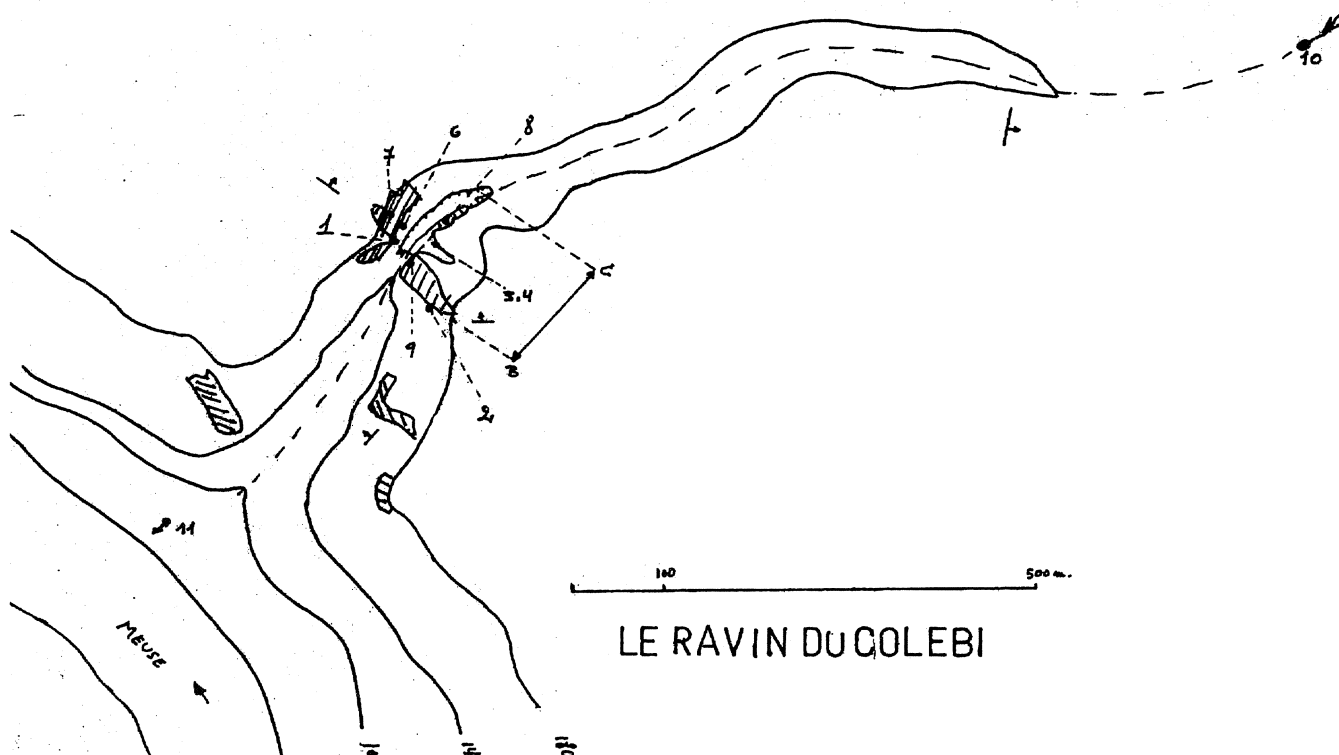


Figure 1 : situation des phénomènes. 1 et 5 : grotte du Colebi. 2 : trou Félix. 3 : orifices rives gauche. 6 : trou des Choucas. 7 : grotte Margaux. 8 : grotte de Falmignoul. 9 : Orifices à la base de la paroi. 10 : chantoire de la préé. 11 : ry des Naiwys.

2 - Si nous interprétons ces cavernes comme des anciennes captures du vallon, on ne voit pas bien comment celui-ci aurait été incapable d'établir son profil d'équilibre et de faire reculer vers l'amont les vagues d'érosion successives dans une roche relativement homogène sur le plan à la fois de la lithologie et de la structure.

3 - L'examen sommaire du remplissage dans la grotte du Colebi, dans le trou des Choucas, dans le trou Félix et dans le trou Margaux montre des séries de sédiments fins exempts de galets roulés. Dans ce dernier, en particulier, on peut observer une couche d'argile verdâtre surmontée d'une argile brune compacte et homogène.

4 - Enfin, à l'altitude de 37m. au-dessus de la Meuse, on peut observer un ressaut de plus de 5 mètres dans le thalweg contre lequel est adossé en rive gauche un lambeau de terrasse dont le sommet coïncide avec deux orifices triangulaires. Ce lambeau

est constitué de galets roulés de quartzite, grès et calcaire de 10 à 50 cm de diamètre emballés dans une argile rougeâtre. Ce matériel sédimentaire de taille imposante semble dépasser largement la compétence du ruisseau de Falmignoul.

Peut-être sommes nous ici en présence d'un ancien dépôt fluviatile de la Meuse.

Dès lors, ne peut-on pas avancer que les cavernes que nous venons de passer rapidement en revue sont des anciens exutoires développés en régime noyé en équilibre avec la paléoMeuse au cours des phases successives de stabilité du réseau hydrographique.

Ainsi, au cours de chaque phase, le drainage souterrain prenant le pas sur le drainage aérien aurait empêché le façonnement d'un profil d'équilibre, favorisant de la sorte la formation et la préservation de ce fragment de canyon.

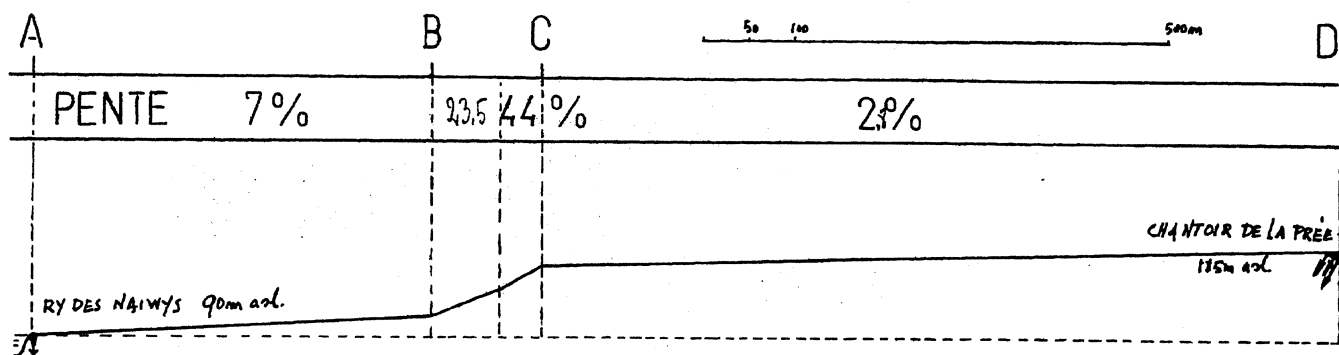


Figure 2 : profil en long.

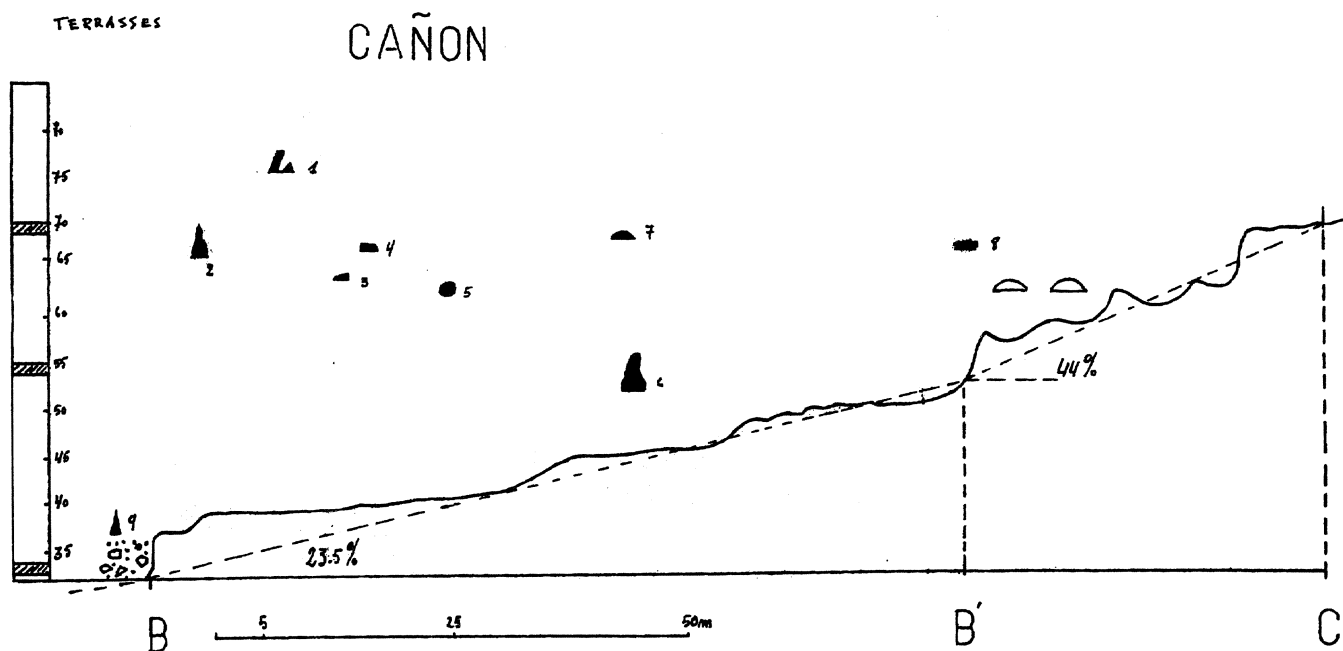


Figure 3 : section BC (les numéros correspondent à la fig. 1).

BIBLIOGRAPHIE

Corbel, J., 1959. Erosion en terrain calcaire. Annales de géographie 68: 97.

Liégeois, P.J., 1953. Le cours souterrain du ruisseau de Falmignoul. Annales de la Société géologique de Belgique. Tome 76: 193-199.

Loriaux, G., 1961. Recherches dans le ravin du Colebi. Documents spéléologiques. Tome 1: 3-7.

Macar, P., 1957. Résultats d'ensemble d'études récentes sur les terrasses alluviales et les formes d'érosion associées en Haute Belgique. Annales de la Société géologique de Belgique, 80 B : 395-412.

Schroeder, J., 1968. Les parois calcaires de la vallée de la Meuse de Waulsort à Marche-les-Dames. Mémoire de licence. p. 90-94.

Van den Broeck, E., Martel E.A. et Rahir E., 1910. Les cavernes et les rivières souterraines de la Belgique. Tome 2 : 924-943.

20 ans d'expéditions spéléologiques belges au Mexique.

Richard GREBEUDE

Groupe Spéléo Alpin Belge

Meez 3, 5500 Bouvignes

richardgrebeude@wanadoo.be

Résumé

Court résumé de 20 ans d'expéditions du GSAB (Groupe Spéléo Alpin Belge) sur sa zone d'exploration dans la Sierra Madre Orientale Mexicaine. Ce récit est précédé d'une présentation du groupe, ainsi que d'une petite présentation de la zone d'exploration, et d'un énoncé des découvertes qui y ont été réalisées.

Abstract

Short summary of 20 years of GSAB (Groupe Spéléo Alpin Belge) expeditions in its area of exploration, located in the Eastern Mexican Sierra Madre. This account is preceded by an introduction of the group as well as by a brief description of the area of exploration and a statement of the discoveries.

Mots clefs

Mexique - Sierra Madre - Exploration spéléologique.

Keywords

Mexico - Sierra Madre - Cave exploration.

1. Les origines: les acteurs et la méthode

Amorcé en 1972, le GSAB (Groupe Spéléo Alpin Belge), est né en 1977 du regroupement d'une douzaine de jeunes spéléos très motivés et très actifs au sein de leurs différents clubs d'origine. Leur objectif était d'entreprendre entre eux des activités d'envergure, exclusivement axées sur la découverte et l'exploration de grandes cavités à l'étranger, (indépendamment d'autres réalisations, similaires ou non, au sein de leurs associations d'origine).

En plus d'une énorme motivation, ils avaient leur jeunesse pour point commun. Tous avaient en effet commencé à pratiquer la spéléo au début des années 70, entre leur onzième et leur treizième année, à un âge où l'apprentissage est rapide et l'aisance innée. Un avantage certain qui leur avait permis d'acquérir très vite une belle expérience, et d'être déjà techniquement au point dès leurs 15 ans. C'est ainsi qu'après avoir déjà découvert et exploré pas mal de gouffres de plusieurs centaines de mètres de profondeur ils découvrirent leur premier -1000m en première alors qu'ils n'avaient que 18 ans !

Ce dernier quart de siècle, ils ont visité en classique une multitude de gouffres de toutes profondeurs, dont nombre des plus importantes cavités européennes (parmi lesquelles une quinzaine de -1000m découvrant divers prolongements plus ou moins importants dans certains).

Entre 1972 et 1984, ils découvrent et explorent toute une série de gouffres profonds en Autriche, au cours de dizaines d'expéditions et raids éclairs.

Leur exploration autrichienne la plus marquante, très représentative de leur efficacité (en une semaine, à six, ils atteignirent la cote - 1000 topo comprise), reste celle du difficile gouffre du Schneeloch en 1978. Premier moins 1000 autrichien et quatrième plus profond gouffre découvert dans le monde à l'époque, c'était aussi le

premier moins 1000 exploré sans aucun bivouac, et accessoirement, le premier exploré par des belges.

Sur le plan des techniques, au cours des raids de quelques jours ou des expéditions de plusieurs semaines, le GSAB conçoit et élabore un nouveau concept de pointes d'explorations ultra-rapides, et d'expéditions ultra-légères (avec notamment l'utilisation de cordes de 8mm et un équipement minimum mais "pointu" des verticales). Poussé à son paroxysme, le système est fatigant mais redoutablement efficace: trois équipes de deux, ou deux équipes de trois se relayent en assauts successifs continus sur un grand gouffre jusqu'à en atteindre le fond, en effectuant pour y parvenir des descentes qui n'excèdent jamais 20 heures, quel que soit l'éloignement ou la profondeur de la pointe; la rapidité étant une nécessité pour éviter le bivouac et pouvoir repartir pour 20 heures de pointe après une journée de repos en surface.

Ayant été parfaitement rodé et utilisé avec succès en Europe, ce système fonctionna pleinement au Mexique lors de l'exploration des grandes cavités verticales. C'est ainsi qu'en 88 par exemple, lors de l'exploration d'Akemati (-1135m, 5.000m), à 7 personnes, il se passa moins d'une semaine entre le moment où la zone d'entrée fut explorée et celui où le fond fut atteint, levés topographiques compris !

Cette façon de fonctionner, a permis au GSAB d'acquérir en une vingtaine d'années l'un des plus gros palmarès au monde en découvertes exceptionnelles dues à un même club, dont par exemple quatre gouffres de plus de 1000m de profondeur entièrement explorés par le GSAB, et une dizaine d'autres gouffres de plus de 1000m où des membres du groupe furent notablement à très notablement impliqués dans les explorations.

Tout ce chapitre peut sembler incroyablement prétentieux, mais rassurez-vous nous ne sommes pas des

<u>Nom</u>	<u>Secteur</u>	<u>Dével.</u>	<u>Prof.</u>	<u>Remarques</u>
1. COYOLATL	Résurgences	20.000 m **	+ 240 m	
2. ATLIXICAYA	Résurgences	13.000 m **	232 m	
3. SISTEMA H31-H35	Principal	5.745 m	- 753 m	
4. AKEMATI	Principal	4.918 m **	-1.226 m	contient un puits de plus de 100 m et 2 puits de plus de 90 m.
5. SISTEMA DE OCOTEMPA	Principal	4.720 m	-1.070 m	contient plus d'un puits de plus de 100 m et plus d'un puits de plus de 200 m.
6. SISTEMA ATLALAQUIA	Principal	4.530 m	- 623 m	contient un puits de plus de 100 m
7. AZTOTEMPA	Principal	4.000 m **	- 700 m	contient une grande salle de plus de 2,5 Ha
8. SOT. DEL RIO COYOMEAPAN	Sud-Ouest	3.900 m	- 337 m	
9. MEANDRO QUE CRUCA	Principal	2.500 m	- 588 m	
10. OZ 20	Principal	2.500 m	- 260 m	
11. SISTEMA PUTREFACION	Résurgences	2.400 m	- 139 m	
12. OZ 21	Principal	2.400 m	- 280 m	
13. TLAMANICTLI TZ 1	Principal	2.093 m	- 450 m	contient une grande salle de plus de 7Ha
14. TEPECUITLAPA TZ3	Principal	1.850 m	- 485 m	
15. SISTEMA ICTLATLELA	Nord	1.835 m	297 (+13m,-284m)	
16. CUEVA XANTILCO OZ8	Résurgences	1.687 m	- 299 m	
17. SISTEMA HOLJUAZTLE	Nord	1.630 m	- 204 m	
18. AKEMABIS	Principal	1.505 m	- 1.015 m	
19. SUMIDERO DEL RIO XOCOTLAT	Sud-Ouest	1.500 m	323 (+15m, -308m)	
20. SISTEMA TZ2-TZ7	Principal	1.390 m	- 314 m	
21. SISTEMA H3-H4	Principal	1.300 m	- 430 m	
22. CUEVA DEL RIO TOPITZATL	Principal	1.290 m	50 (+33m, -17m)	
23. CUEVA DE LA CANA	Résurgences	1.220 m	104 (-2m, +102m)	
24. MONTITLA	Principal	1.020 m	- 71 m	

*Tableau 1 : Principales cavités de plus d'un km de développement découvertes et explorées sur la zone d'exploration belge au Mexique. **Exploration non complètement terminée.*

mégalomanes égocentriques forcenés. Il ne faut pas oublier que ces activités s'étendent sur une longue durée (un quart de siècle) et ont impliqué un grand nombre de spéléologues dont une bonne partie de "la fine fleur de la spéléologie belge" de ces trente dernières années. Ces deux pondérations ramènent les propos de ce chapitre à une mesure réaliste des travaux accomplis. Le résumé des trente ans de réalisations belges en Suisse sur le système Höghant-Siebenhengste-Faustloch-Bärenschaft serait tout aussi glorieux et n'aurait strictement rien à envier aux réalisations belges au Mexique.

1.1. La genèse des explorations belges au Mexique et hors-continent.

Dès 1975, les membres du groupe envisagent l'ouverture d'une zone d'exploration belge hors-continent européen. L'organisation d'une expédition en Papouasie Nouvelle Guinée est alors entreprise, mais les écueils financiers s'avèrent très vite insurmontables. En effet en 1976 la plupart n'ont que 16 ou 17 ans et n'ont guère de revenus !

Après les explorations au Schneeloch d'août, novembre et décembre 78, une expédition au Mexique est mise sur pied. Elle aura lieu dès janvier 80, moins d'un an plus tard.

Nous ignorions alors que c'était la première d'une longue série d'expéditions et de séjours belges en terre mexicaine, ayant toujours lieu depuis plus de 20 ans maintenant.

Ce sont toujours quatre "survivants" du GSAB d'avant la première expé Mexique, quadragénaires à présent, qui organisent ces expés, et qui, avec trois autres personnes venues souvent en expé Mexique, en constituent véritablement les piliers.

En plus de ce noyau de sept personnes, près de 60 spéléologues belges différents ont déjà pu participer, certains pour une seule expé, d'autres à deux ou trois reprises.

1.2. Le terrain de jeu, ou la révélation d'un fabuleux Eldorado karstique.

Depuis 1980 donc, le GSAB explore une zone calcaire située dans un chaînon méridional de la Sierra Madre Orientale. L'extrémité Nord de ce chaînon est située à 320 kilomètres au Sud Sud-Est de la ville de Mexico, touchant là la bordure du plateau volcanique central mexicain, au pied du plus haut sommet du pays, le volcan Citlaltepetl ou Pico Orizaba (5.650 m). L'extrême pointe Sud du chaînon est quant à elle proche de la grande ville d'Oaxaca dans l'Etat du même nom.

Notre zone de recherches qui couvre une superficie de près de 400Km² est située dans le tiers Nord de la chaîne, à cheval sur les Etats de Veracruz et Puebla, mais essentiellement (80%) sur Puebla. Elle est limitée au Nord par la Sierra Zongolica à l'Est par la Sierra Negra et au Sud par la Sierra Huautla ou Sierra Mazateca.

NOM	SECTEUR	DENIVEL	DEVEL	REMARQUES
1 AKEMATI	Principal	-1.226 m	4.918 m **	contient un puits de plus de 100 m et 2 puits de plus de 90 m.
2 SISTEMA DE OCOTEMPA	Principal	-1.070 m	4.720 m	contient plus d'un puits de plus de 100 m et plus d'un puits de plus de 200 m.
3 AKEMABIS	Principal	-1.015 m	1.505 m **	contient plus d'un puits de plus de 100 m.
4 AKEMASUP	Principal	- 840 m	1.100 m	contient un puits de plus de 100 m et jonctionne avec Akemati à -840m.
5 SISTEMA H31-H35	Principal	- 753 m	5.745 m	
6 AZTOTEMPA	Principal	- 700 m	4.000 m **	contient une gde salle de plus de 2,5 Ha.
7 CUAUBTEMPA SUP	Principal	- 640 m	900 m	
8 SISTEMA ATLALAQUIA	Principal	- 623 m	4.530 m	contient un puits de plus de 100 m et une grande salle de plus de 2,5 Ha.
9 MEANDRO QUE CRUCA	Principal	- 588 m	2.500 m	
10 YOMETA	Principal	- 582 m	721 m	contient un puits de plus de 100 m.
11 SUMIDERO DE TEPECUITLAPA TZ3	Principal	- 485 m	1.850 m	
12 TLAMANICTLI TZ1	Principal	- 450 m	2.093 m **	contient une grande salle de plus de 7 Ha.
13 SISTEMA H3-H4	Principal	- 430 m	1.300 m	
14 SUMIDERO ROBERTO TB1	Principal	- 400 m	831 m	
15 QUIPA XITLAMA	Sud-Ouest	- 339 m	450 m	
16 SOT. DEL RIO COYOMEAPAN	Sud-Ouest	- 337 m	3.900 m	
17 SUMIDERO DEL RIO XOCOTLAT	Sud-Ouest	323(+15,-308)	1.500 m	
18 SISTEMA TZ 2-TZ 7	Principal	- 314 m	1.390 m	contient une gde salle de plus de 2,5 Ha.
19 POMNOSATL	Principal	- 310 m	560 m	
20 SUMIDERO DE CAMPO NUEVO	Principal	- 309 m	824 m **	
21 CUEVA XANTILCO OZ8	Résurgences	- 300 m	1.840 m	
22 SISTEMA ICTLATLELA	Principal	297(+13,-284)	1.835 m	contient un puits de plus de 100 m.
23 SOTANO ATLALAQUIA	Principal	- 285 m	470 m	
24 OZ 21	Principal	- 280 m	2.400 m	
25 TZ 00-14	Principal	- 268 m	642 m	
26 SOTANO DE LAS MALAMUJERES	Principal	- 264 m	300 m	
27 OZ 20	Principal	- 260 m	2.500 m	
28 COYOLATL	Résurgences	+ 240 m	20.000 m **	
29 AQUIDOUICI	Sud-Ouest	- 235 m	650 m	
30 CUAUBTEMPA	Principal	- 232 m	250 m	
31 ATLIXICAYA	Résurgences	232(+92,-140)	13.000 m **	
32 SISTEMA HOLJUAZTLE	Nord	- 204 m1	630 m**	
33 SIMA CHARCOLINGU*	Supérieur	- 150 m	260 m	

Tableau 2 : Principales cavités de plus de 200 m de profondeur découvertes et explorées sur la zone d'exploration belge au Mexique, . Trop nombreux, les gouffres de -150 m à -200 m ne sont pas repris dans cette liste. La cavité importante la plus basse du massif est l'émergence de Coyolatl à 400 m d'altitude.*Le Charcolingu est cité, car c'est actuellement la cavité de plus de 100 m de profondeur la plus haute du massif, elle s'ouvre à 2.650 m d'altitude!
**Exploration non complètement terminée.

Le massif calcaire en cours d'exploration culmine à 3200 m, les résurgences sont étagées entre 200 et 800 m d'altitude. Le potentiel maximal théorique de dénivellation des systèmes est de près de 2500 m. Plusieurs systèmes hydrogéologiques distincts drainent cette partie du massif.

En 1980, le GSAB se cherche une zone d'exploration vierge dans les sierras mexicaines. De fructueuses explorations sont entreprises dans la région de Cuetzalan, dans le Sumidero de Chichicasapan notamment, où plusieurs kilomètres de galeries sont explorés, mais très vite le grand intérêt de la zone vierge de toute exploration comprise entre Huautla et Zongolica est décelé. Dès l'expédition de 1981, les premières traversées et reconnaissances de cette zone commencent, de même que l'exploration de nombre de phénomènes dont diverses cavités fort arrosées d'un peu plus

de 300 mètres de profondeur sur la Zone de Coyomeapan.

Entre 1985 et 90, le GSAB explore sur la zone près de 100 kilomètres de galeries dans une série de cavités dont 3 gouffres de plus de 1000 m de profondeur (Sistema Ocotempa, Sistema Akemati, Akemabis), un gouffre de -800 m, un de -700 m, plusieurs de -650 à -500 m, une série de cavités de -500 à -300 m, et une foule d'autres phénomènes mineurs, dont de nombreux puits d'un seul jet de 80 à 150 m. Les deux plus longues cavités explorées sont les deux résurgences majeures de cette partie du massif : Coyolatl, 20 km et Atlixicaya, 13 km, dont les explorations ne sont pas encore terminées à ce jour.

Au fil des ans notre connaissance des différents secteurs de cette vaste zone d'exploration s'est bien

sûr affinée. Suite à cette expérience du terrain, aux prospections et découvertes réalisées, et à l'étude des cartes géologiques et des photos aériennes en stéréoscopie, les systèmes ont commencé à se dessiner plus clairement. Les conclusions de ces travaux ont naturellement orientés nos objectifs vers les premières tentatives de jonctions entre gouffres du plateau et résurgences.

Mais il était trop tôt, car avant cela il nous fallait encore pousser plus avant la connaissance du terrain en travaillant des secteurs peu parcourus de notre zone d'exploration, quitte à lâcher la proie pour l'ombre en effectuant des expés de prospections aux résultats hasardeux, aux dépens d'expés riches en découvertes sur des secteurs bien connus.

C'est ainsi que l'expé 95 fut "sacrifiée" à la prospection détaillée du secteur résurgences, dans le but de savoir s'il n'existait pas d'autres phénomènes majeurs en dehors des grosses émergences de Coyolatl et d'Atlixicaya. Au prix de nombreuses marches, souvent sans visibilité dans une végétation très luxuriante, seuls de nouveaux phénomènes annexes furent découverts et explorés, pour une expédition qui ne ramena que cinq kilomètres de nouvelles galeries, essentiellement situées dans deux nouvelles cavités dont l'OZ20 un -260m de 2.500m de développement.

En 97, une petite équipe de huit ne disposant que de trois semaines sur le terrain s'orienta vers la poursuite de l'exploration de l'émergence d'Atlixicaya. Malheureusement, en début d'expé une crue inopinée, forte et violente, condamna totalement l'accès à la cavité pendant plus d'une semaine, après avoir failli bloquer et noyer une équipe de quatre. Sérieusement refroidie (la cavité s'ennoye à 75%), l'expé s'orienta alors sur la poursuite de l'exploration des phénomènes annexes du secteur résurgences et ramena six kilomètres de nouvelles découvertes, glanées principalement dans trois cavités, dont l'OZ21 un -280 de 2.400m de développement.

1.3. La dernière expédition en date

En 99, il restait encore un voile à lever sur le secteur le plus haut de la zone, compris entre 2.200 et 3.000 m d'altitude, et à peine entrevu précédemment en raison de sa difficulté d'accès.

Comme en 95, il fallait donc une expé "sacrifice à la marche et à la prospection" pour en savoir plus quant à la richesse karstique de ce secteur, quitte à ne pas trouver grand'chose.

Après avoir établi deux camps successifs à 2.500 mètres et un camp de base malheureusement assez éloigné à 2.150 mètres dans la bourgade de Zoquitlan, l'expé, forte de 13 participants, consacra 15 jours entiers à parcourir ce secteur en tous sens, découvrant nombre de dépressions, dolines, effondrements et zones lapiazées, mais peu de cavités de plus de 50 mètres de profondeur, la plus importante "Le Charcolingu" n'excédant pas les -150 mètres.

Après avoir effectué un grand tour de la Sierra pour établir un nouveau camp à 1.750m non loin des -1.000 explorés quelques années plus tôt, mais plus en aval vers les résurgences, la troisième semaine d'expé se déroula à prospecter ce secteur peu connu qui s'avéra très décevant. En effet, si nombre de beaux et vastes orifices de cavités furent découverts, aucun ne livra plus de 120 mètres de dénivellation et 200 mètres de développement.

La dernière semaine d'expé fut alors consacrée à une ultime migration, encore plus bas et plus en aval du système, pratiquement au-dessus des pointes connues de l'émergence de Coyolatl. Le dernier camp de cette expé décidément très mobile, fut établi sur le replat sommital d'un mamelon herbeux à 1.550 mètres d'altitude au lieu-dit "Cerro Azul" (la colline bleue). C'est au départ de ce camp, et lors des tous derniers jours d'expé que quelques résultats tangibles en matière de découvertes purent être engrangés.

Le secteur, très tourmenté, boisé et criblé d'énormes dépressions, s'est avéré contenir beaucoup de cavités aux orifices plus spectaculaires et prometteurs les uns que les autres. Si beaucoup n'ont en définitive pas vraiment tenu leurs promesses, certains ont permis de belles découvertes, les plus importantes étant deux gouffres (TZ2-TZ7) d'une profondeur de -314m jonctionnant à hauteur d'une énorme salle d'environ 200 X 300 m, et un troisième gouffre de -450 m pour 2.100 m de développement, Tlamanictli (TZ1), se terminant dans une gigantesque salle d'environ 250 X 400 m, qui devient la plus grande salle découverte à ce jour au Mexique, et l'une des 5 ou 6 plus grandes salles actuellement connues sur la planète.

Nombre de dépressions et effondrements karstiques restent à voir sur ce secteur où nous retournerons prochainement.

2. Futur et Conclusion

Les dernières expéditions nous apportent la conviction que, malgré la découverte de nombre de grandes cavités dont le tracé reporté sur carte commence à dessiner clairement les systèmes hydrogéologiques, il nous manque encore pas mal d'éléments. Il nous reste donc de la prospection et de l'exploration à faire sur des secteurs peu travaillés, avant que de vraiment songer à tenter de réaliser des jonctions entre les différents parties connues des systèmes. Les tableaux 1 et 2 reprennent la spéléométrie des principales cavités.

Dans cet esprit, l'expédition 99 a pleinement remplit ses objectifs en levant encore un coin de voile, et en nous fournissant de précieuses informations sur 4 à 5 secteurs que nous ne connaissions pas ou peu. L'expédition 2000 devrait nous en dire davantage sur le dernier secteur exploré en 99, car c'est là en effet qu'elle aura lieu en février-mars prochain...

Le karst néerlandais

Herman W. de SWART

Speleo Nederland

Koolstraat 56 - NL 2312 PT Leiden - Pays Bas

e-mail: swart38@zonnet.nl

Résumé

Description générale des phénomènes karstiques et des galeries artificielle creusées dans les roches carbonatées observables aux Pays-Bas.

Abstract

Detailed description of the karstic features as well as of the artificial galleries in carbonated rocks, found in the Netherlands.

Mots clefs

Karst - Géologie - Pays-Bas - Montagne Saint-Pierre.

Keywords

Karst - Geology - The Netherlands - Sint Pietersberg.

1. Généralités

98% des Pays Bas se composent de dépôts pleistocènes et holocènes : gravier, sable, argile et tourbe. Une grande partie est constituée par des «Polders» ou terre endiguée. Dans deux zones restreintes nous trouvons une roche plus ancienne et montrant des phénomènes karstiques typiques comme des dolines, des lapiez, des pertes et résurgences et même UNE caverne. Ces zones, très modestes, de karst en Hollande sont situées autour de Winterswijk et dans la partie la plus méridionale de la province de Limbourg (fig. 1).

2. Le karst de Winterswijk

Près de Winterswijk (dans l'est de la province de Gelderland) se trouve une grande carrière de calcaire de Muschelkalk triassique où, pendant la guerre, en 1942, une aire d'environ 500 m² de lapiez a été mise à jour lors de la découverte des argiles pleistocènes (photo 1). Malheureusement, ce lapiaz n'a pas été préservé à cause de l'extraction. Aucun autre champ de lapiaz n'a été découvert par après et seules restent quelques photographies. Il n'y avait aucune trace de grottes.



Photo 1 : les lapiez de Winterswijk

3. Le karst limbourgeois

Dans la région la plus méridionale des Pays-Bas, en province de Limbourg, affleurent aussi des roches plus anciennes. Près de la frontière belge, il y a un affleurement carbonifère mais une surface assez grande de cette région est constituée de craies. On l'appelle marne mais, en fait, c'est du calcaire ou plutôt de la craie, parce qu'elle contient seulement 2% d'argile (la marne en contient au moins 35 %). La roche est assez douce et, de ce fait, peut être extraite facilement. Cette extraction s'est d'abord faite en surface puis dans de grandes carrières souterraines et cela depuis au moins la période romaine et peut-être même préhistorique. Sous terre, les roches calcaires sont extraites par les "trancheurs" ou "briseurs de blocs". Ainsi, au cours du temps, ce sont formés des grands systèmes souterrains. Dans cette région, on les appelle "mergelgrotten" ou grottes de marne en français. En fait ce terme est doublement incorrect : il ne s'agit ni de marne ni de grottes mais des carrières souterraines de calcaire. Le calcaire était, jusqu'à très récemment, utilisés pour la construction, dans l'industrie cimentière et comme fertilisateur chimique dans les zones agricoles acides.

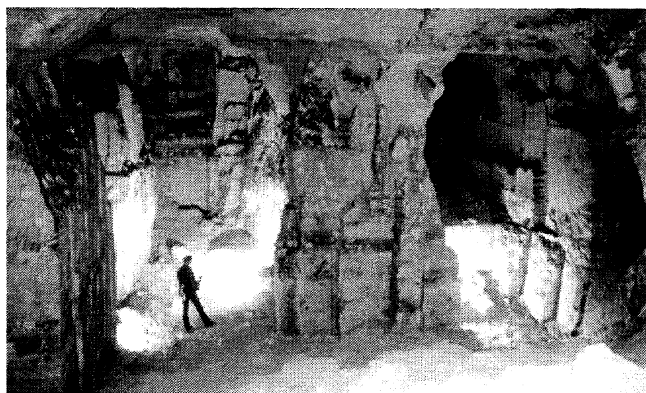


Photo 2 : Les carrières souterraines de la Montagne Saint-Pierre (ph. J.P. van der Pas).

HOLOCÉEN - HOLOCÈNE

-  Duin - Strandzanden
Dune and Beach Sands
-  Jongere mariene afzettingen
Younger marine deposits
-  Oudere mariene afzettingen
Older marine deposits
-  Klei op veen
Clay upon peat
-  Veen, en veen op klei
Peat, and peat upon clay
-  Rivierafzettingen
River deposits

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST



HAARLEM

PLEISTOCÉEN - PLEISTOCÈNE

-  Dekzand en beekafzettingen
Coversands and brookdeposits
-  Glaciale en fluvioglaciale afzettingen
Glacial and fluvio-glacial deposits
-  Gestuwde afzettingen
Ice - pushed deposits
-  Jongere rivierafzettingen
Younger river deposits
-  Oudere rivierafzettingen
Older river deposits

-  Tertiair, vooral mariene zanden
Tertiary, mainly marine sands
-  Krijt, zanden en kalksteen
Cretaceous, sands and limestones
-  Carboon. zandstenen
Carboniferous, sandstones

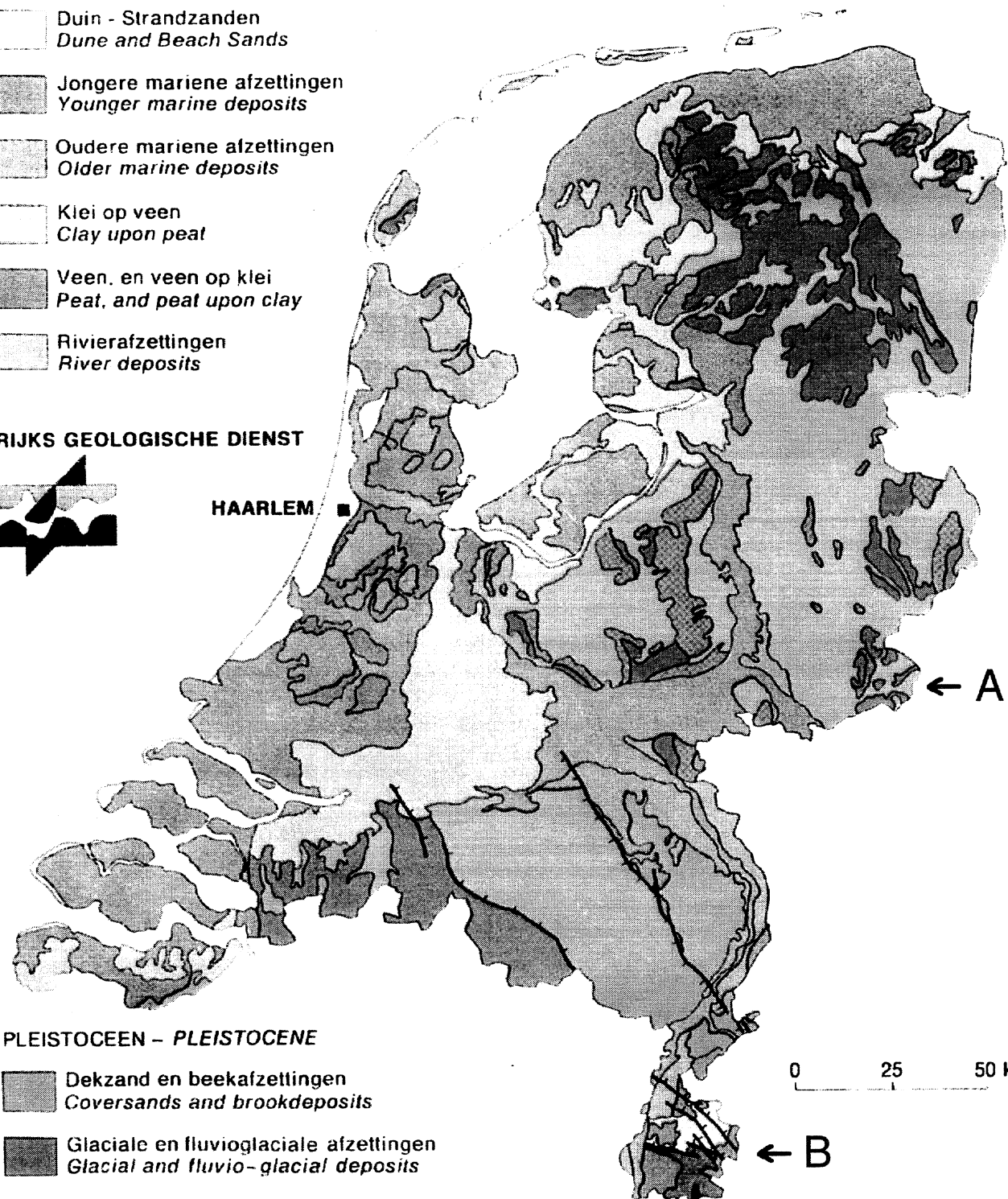


Figure 1 : Carte géologique des Pays-Bas. A : Winterswijk - B : Mergelland

Les systèmes souterrains contiennent des longues galeries rectangulaires. Là où ces galeries se croisent, des salles plus ou moins grandes se forment. Des piliers sont laissés pour éviter les effondrements (photo 2).

Les systèmes souterrains sont assez complexes. Les galeries de Sint Pieterberg (Montagne-Saint-Pierre) ont environ 100 km de développement et s'étendent jusqu'en Belgique. Dans cette région on a recensé envi-

ron 170 de ces grottes artificielles, pour une longueur totale de plus de 200 kilomètres. La topographie de la figure 2 ne représente qu'une petite partie seulement de la Montagne Saint-Pierre et montre bien la complexité du système.

Le paysage autour de la Montagne Saint-Pierre près de Maastricht, qu'on appelle «Mergelland» (pays de marne), est presque sans relief (la partie la plus haute de la Hollande n'est qu'à 320 m au dessus du niveau de la mer). On peut d'ailleurs observer une série de galeries souterraines sur les berges du Canal Albert, creusé dans le calcaire blanc/jaune (photo 3).



Photo 3 : le canal Albert recoupe de nombreuses galeries artificielles (photo J.P. van den Pas).

4. Importance et utilisation des cavernes.

Autrefois, et jusqu'à la deuxième guerre mondiale, les grottes étaient utilisées comme abri en périodes de combat mais parfois aussi comme habitat humain permanent. Quelques unes de ces maisons souterraines sont très bien conservées, notamment dans la région de Geulhem.

Les cavernes sont aussi souvent utilisées pour le tourisme (au moins dix d'entre elles sont aménagées et l'une d'elle est même accessible aux vélos tout-terrain pour un safari souterrain) ou pour des motifs religieux, comme une des cavernes de Valkenburg, transformée en copie de la grotte sacrée de Lourdes.

Au cours des siècles, les plus grandes grottes ont été visitées par toutes sortes de gens. Ces visiteurs ont laissé des images, des inscriptions et quelquefois des dates sur les parois. De nos jours, ces archives parié-

tales font l'objet de recherches historiques consciencieuses. On y trouve aussi souvent des objets archéologiques comme des lampes, des outils et des anciennes pièces de monnaie.

Pour les biospéologues, aussi, les grottes sont un intéressant terrain de recherches. On n'y trouve pas de vrais troglobies (sauf dans la nappe phréatique) mais on peut étudier un grand nombre d'animaux, permanents ou temporaires, qui vivent dans les grottes. Par exemple, douze des dix neuf espèces de chauves-souris que l'on trouve au Pays-Bas nichent ou passent l'hiver dans ces grottes artificielles. On peut dès lors supposer que, comme dans les grottes "normales", les conditions climatiques y sont très stables.

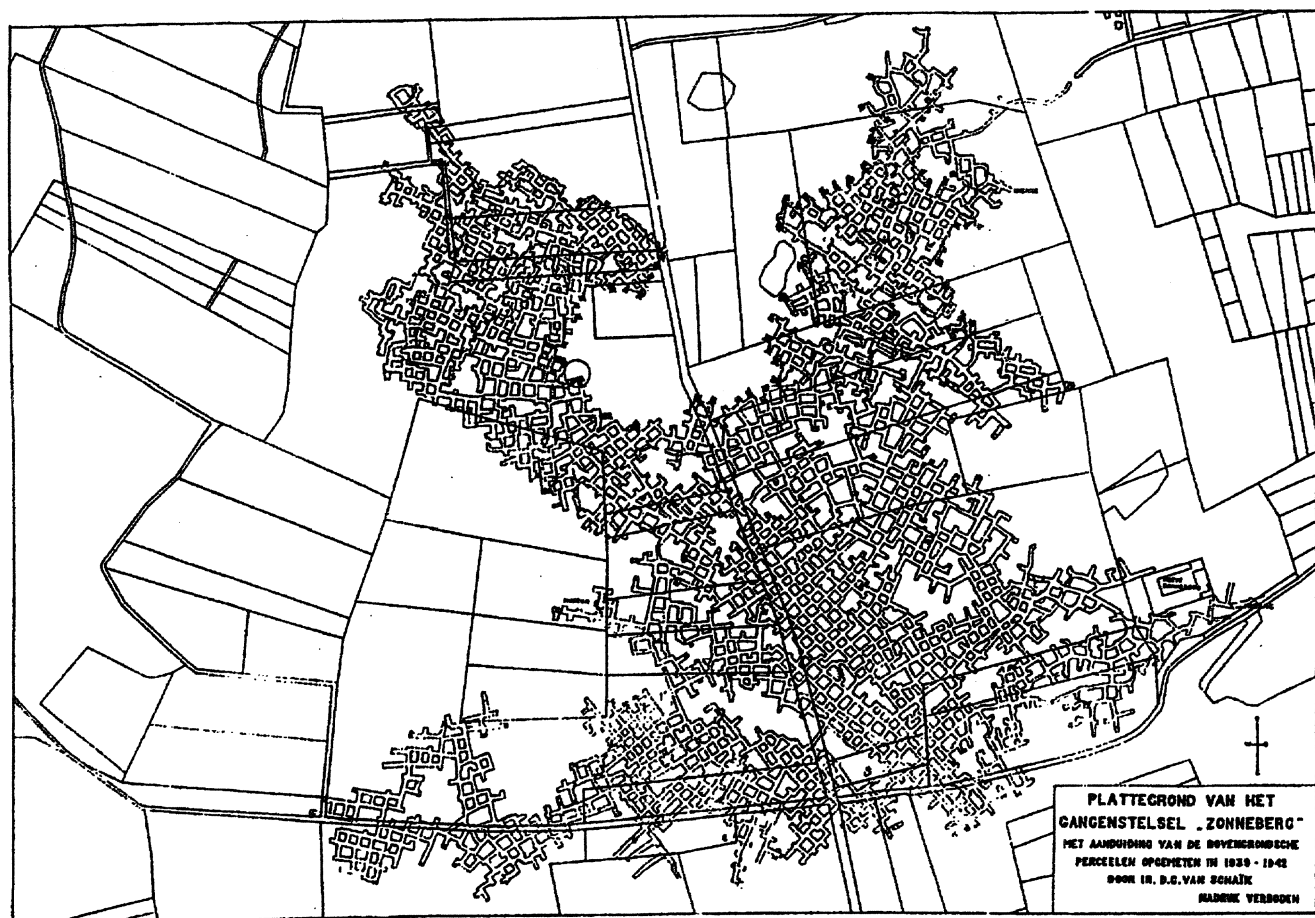


Figure 2 : plan de la carrière Zonneberg dans la Montagne Saint-pierre (d'après Van Schaik, 1938)

Enfin, ces réseaux souterrains forment un site attrayant et un terrain de jeux évident pour les spéléologues néerlandais.

5. Karstologie

Concernant la recherche géologique (ou karstologique) du karst limbourgeois, on peut observer divers phénomènes karstiques :

En surface, on rencontre des lapiez (voir introduction et photo 1). Sur la Montagne Saint-Pierre, on trouve plusieurs dolines d'effondrement. Il y a des dolines en connexion démontrée avec les galeries souterraines.

On peut aussi rencontrer, sur une échelle très modeste, des drainages souterrains, comme dans le ruisseau Sijlbeek, près d'Epen. Il se perd trois fois successivement de plusieurs dizaines de mètres dans le calcaire Maastrichtien et montre par conséquent des phénomènes de pertes et de résurgences.

Le fameux auteur et naturaliste néerlandais Heimans, a comparé, en 1911, ces phénomènes avec ceux de la Grotte de Han. On peut dire qu'il a exagéré un peu; la plus grande résurgence mesure moins d'un mètre !

Dans les galeries artificielles, on peut néanmoins observer des phénomènes karstiques complètement naturels. Dans les plafonds par exemple, on voit souvent des trous circulaires, remplis de dépôts venant de la surface. En coupe, dans une carrière, nous pouvons observer l'origine des trous : ce sont des dolines ou avens remplis, quelquefois de plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Dans la région on les appelle « tuyaux d'orgues géologiques » (photo 4).

La figure 3 montre un type de recherche karstique ancien, mais intéressant. Le schéma montre les forages montants d'une galerie d'une ancienne mine de houille, la mine 'Hendrik', à une profondeur située entre 150 m et 200 m. Le charbon lui-même est carbonifère, comme en Belgique, mais il est couvert par des couches de craie sénonienne (plus précisément maastrichtienne du Crétacé). Mais quand on a percé les trous dans le plafond de cette galerie, le Crétacé était en lacune en quelques endroits. Ici, les mineurs ont rencontré immédiatement les couches plus jeunes, le sable vert de l'oligocène. Dans un même temps, l'hydrologie des couches sus-jacentes était perturbée. Ce phénomène semble être provoqué par ces tuyaux d'orgues géologiques déjà mentionnés. Dans ce cas, on peut parler, je crois, de tuyaux d'orgues paléokarstiques.

Dans les carrières souterraines, on trouve aussi des galeries de grottes vraiment naturelles, parfois remplies de dépôts. Il y a également des vides naturels, dans lesquels on peut entrer, bien qu'ils n'aient pas un diamètre très grand. On n'a pas encore pu étudier convenablement ces cavités, parce que l'accès n'est pas libre et très difficile à obtenir (photo 5). Dans un premier regard on peut observer que les grottes se sont formées le long d'une diaclase ou d'une faille dans les couches horizontales du cal-



Photo 4 : Un « tuyau d'orgue » géologique (photo : J.P. van den Pas).

caire à l'encontre d'un plan de stratification. Ensuite, la grotte est montée par effondrements successifs de la voûte. Le fond, par conséquent, se compose toujours d'une couche épaisse de particules de calcaire meuble (comme le sable). Un fond solide n'a pas été trouvé jusqu'à présent.

Les galeries naturelles se connectent fréquemment avec les galeries artificielles. C'est donc, à l'évidence, l'exploitation qui a permis leur découverte. En surface, aucune entrée naturelle n'a, jusqu'à présent, été trouvée. La figure 4 montre une topographie de la galerie naturelle, la plus longue découverte à ce jour, d'une longueur de 70 mètres. On voit clairement les jonctions avec les galeries de la carrière souterraine.

On trouve beaucoup d'éboulements dans les galeries des carrières avec de grands amoncellements de blocs tombés. Les éboulements rendent les carrières

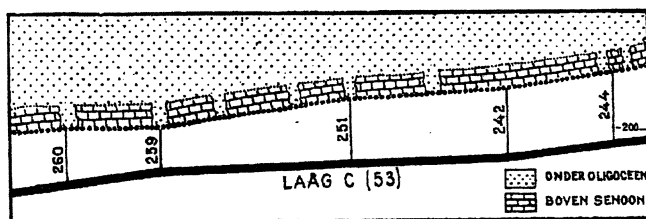


Figure 3 : forages montant à partir d'une galerie dans le charbonnage Hendrik, démontrant des poches de dissolution du calcaire crétacé (= Boven Senoon), d'après Rutten, 1945.

instables à certains endroits, et ainsi très dangereuses. Le risque de se perdre dans ces systèmes très complexes est aussi très réel. A cause de ces dangers il est difficile, ou souvent impossible, d'obtenir une autorisation d'accès. Quelques parties pourtant, peuvent se visiter avec un guide, en payant, comme dans les grottes touristiques.

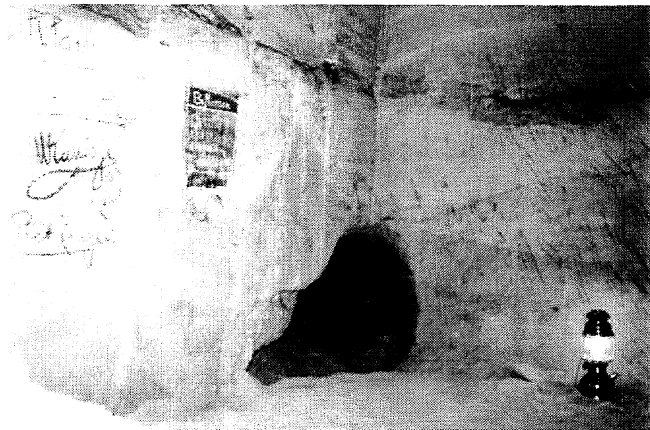


Photo 5 : l'entrée de la grotte naturelle de la montagne Saint-Pierre dans une galerie artificielle (photo J.P. van den Pas)

La plus grande menace contre ces systèmes souterrains, malgré toutes leurs valeurs biologiques, géologiques et historiques, sont les carrières de calcaire. Elles sont très vastes et fonctionnent vingt quatre heures par jour, sept jours par semaine et n'ont que très peu de respect par rapport au paysage. Remarquez sur la photo 6 toutes les entrées de galeries souterraines qui ont déjà disparues suite à l'exploitation par les carrières.

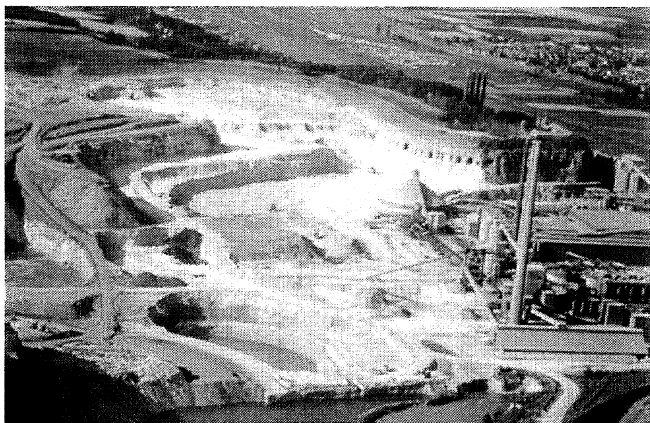


Photo 6 : La carrière de ciment de la Montagne Saint-Pierre avec les entrées des galeries souterraines (photo J.P. van den Pas)

Il est dommage de devoir terminer par cette triste comparaison : une tonne de ciment = une tonne de karst néerlandais disparu !

6. Bibliographie :

Bekendam, R.F. (1998) Pillar stability and large-scale collapse of abandoned room and pillar limestone mines in South-Limburg, The Netherlands. Thesis, Delft University of Technology.

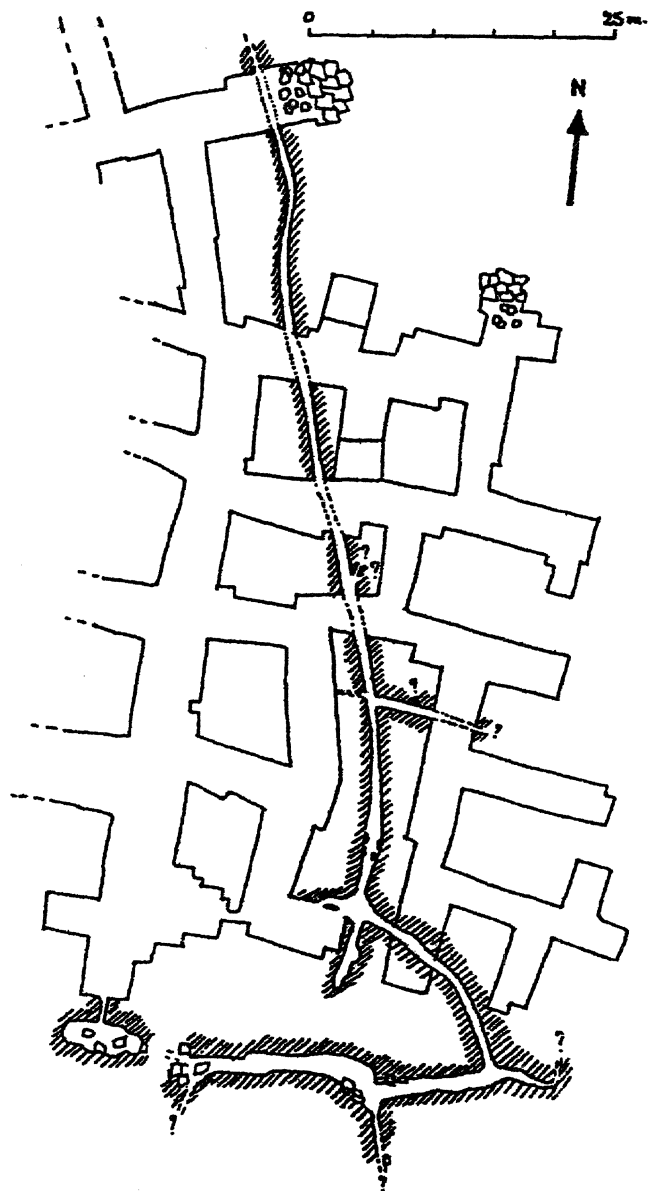


Figure 4 : topographie de la grotte naturelle de la Montagne Saint-Pierre dans son environnement artificiel (d'après Smithuysen, 1987).

Breuls Tony, 1994. Mergelgrotten, het onbekende landschap van Limburg. Mergelbouwsteen, Sibbe Valkenburg a/d Geul.

Crommelin R.D., 1943. Een karrenveld bij Winterswijk. Tijdschrift van het Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, Amsterdam, Tweede Reeks, DL. LX, N 2, maart 1943 : 154-163.

De Swart Herman W., 1992. Karst in the Netherlands. Proceedings of the European Conference on Speleology, Helecinie, Belgium, volume 2. International Union of Speleology/Federation Nationale Belge de Speleologie.

De Swart Herman W., 1996. In: Karren Landforms. Universitat de les Illes Balears, Palma (Balears).

De Swart Herman W. & Van Der Pas, Jan-Paul, 1989. Karst in the Netherlands. Proceedings 10th International Congress of Speleology, Vol. III. Budapest, p. 792-3.

Didden, J.M., 1996. Tektoniek, karst en speleothemen in

de kalksteen van het Laat-Maastrichtien van Zuid-Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad*, jrg. 84 nr. 4 & *Speleo Nederland/Pierk*, jrg. 12 nr. 1 & 2.

Heimans E., 1911. *Uit ons Krijtland*. W. Versluys, Amsterdam (photographic reprint Vroom & Dreesmann, z.p., 1974).

Hol Jacoba B.L., 1943. Een fossiele karstoppervlakte in Zuid-Limburg. *Tijdschrift van het Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, Amsterdam, Tweede Reeks, DL. LX, N° 3, maart 1943, p. 297-300.

Melkert Marjan, 1997. Die myn kamer vint, die moetse niet bederven & De gangenstelsels in de Sint Pietersberg als beschermd monument. *Wetenschapswinkel Rijksuniversiteit Limburg*, Maastricht.

Oestreich K., 1943. Beschouwingen omtrent een blootgekomen Karstoppervlak bij Winterswijk. *Tijdschrift van het Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, Amsterdam. Tweede Reeks, DL. LX, N° 2, maart 1943, p. 163-6.

Rummelen F.H. Van, 1938. Bouw en wording van den Sint Pietersberg. In: van Schaik, D.C.

Rutten M.G., 1945. Over karstverschijnselen in het boven-senone dekterrein van S.M. Hendrik. *Mededeelingen Jaarverslag Geologisch Bureau 1942-1943*, No. 8.

Schaik D.C. Van, 1938. *De Sint Pietersberg. Leiter-Nypels*, Maastricht, 1938 [new edition, with supplement: EF & EF, Thorn, 1983].

Schaik D.C. Van, 1941. Karstverschijnselen in het Maastrichtse Krijt. *Natuurhistorisch Maandblad*, p. 30-33

Silvertant Jacquo, 1999. *Caestert, de genese van het gangenstelsel*. Maastricht.

Smits huysen Eef, 1987. Een Karstgrot in de Sint-Pietersberg. *Speleo Nederland*, 2e jrg. n° 3 : 136-9.

Valkenburg Rik, 1994. *Ondergronds verzet - Maastricht in oorlogstijd*. De Banier, Utrecht.

Van Wijngaarden A., 1967. *Ons Krijtland Zuid-Limburg III: de Ondergrondse Kalkgroeven van Zuid-Limburg*. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Hoogwoud [Wetenschappelijke Mededeling n(†7111)].

Zijlstra J.J.P., sans date. *Sedimentology of the late Cretaceous and early Tertiary (Tuffaceous) chalk of Northwest Europe*. *Geologica Ultrajectina*, no. 119, Utrecht.

Site internet: <http://www.xs4all.nl/~estevenh/geonet/>

La grotte du Fayt à Jemelle

Camille EK¹, Sophie VERHEYDEN² et Serge DELABY³

¹ Université de Liège

Rue des Vennes, 131 - 4020 Liège

camille.ek@ulg.ac.be

² CSARI, SCB et VUB

Rue des Champs Elysées, 50 - 1050 Ixelles

sverheyd@vub.ac.be

³ CSARI et FPMs

Rue des Champs Elysées, 50 - 1050 Ixelles

serge.delaby@hydro.fpm.s.ac.be

Résumé

Brève description de la grotte du Fayt réalisée en vue de l'excursion guidée par les auteurs lors de la Journée 1999.

Abstract

Short description of the Fayt cave for the field trip during the 1999 Journée de Spéléologie Scientifique.

Mots clés

Grotte du Fayt - Jemelle - Belgique.

Keywords

Fayt cave - Jemelle - Belgium.

1. Localisation

Jemelle, commune de Rochefort.

Planchette I.G.N. Rochefort 59/3.

Coordonnées : X : 213.58 - Y : 94.84 - Z : 205 m.

2. Autre nom

Grotte de Jemelle.

3. Découverte

Cavité connue de longue date.

Van Den Broeck, Martel et Rahir en donnent une description en début de siècle (VMR, vol. 1, p. 12-14).

Le RP Anciaux dans "Cavernes" (1950) attribue à la grotte une longueur de 160m et indique 2 étages.

Van Den Abeele dans "Cordées de la Nuit" (1954) donne 500m de longueur, indique l'étage inférieur mais ignore le supérieur, pourtant bien connu alors.

En 1958, Pierre Overlau (SC Senior) découvre un petit réseau proche du sommet du grand éboulis.

Plusieurs réseaux annexes sont ensuite découverts dont :

- S.C.U.C.L. en 1961 (Charles Danheux).

- S.C.B. en 1961 (Bernard Magos, Pierre d'Ursel).

- S.C.S. en 1965, etc...

4. Situation

Au centre de Jemelle, en face de l'église, traverser le pont sur la Lhomme.

Emprunter le premier chemin à droite. La grotte s'ouvre 500m plus loin à gauche du chemin. Parking possible à droite.

5. Accès

Cavité fermée par une porte, grotte protégée, par le Spéléo Club du Gerny.

Description - Vaste cavité estimée à près de 1000m de développement à prédominance horizontale, se développant sur trois niveaux distincts composés de galeries parallèles reliées entre elles par des puits et des diaclases transversales. Au fond, la salle des Eboulis est le départ de plusieurs réseaux. Les réseaux inférieurs sont inondés en période de crue. Calcaire givétien.

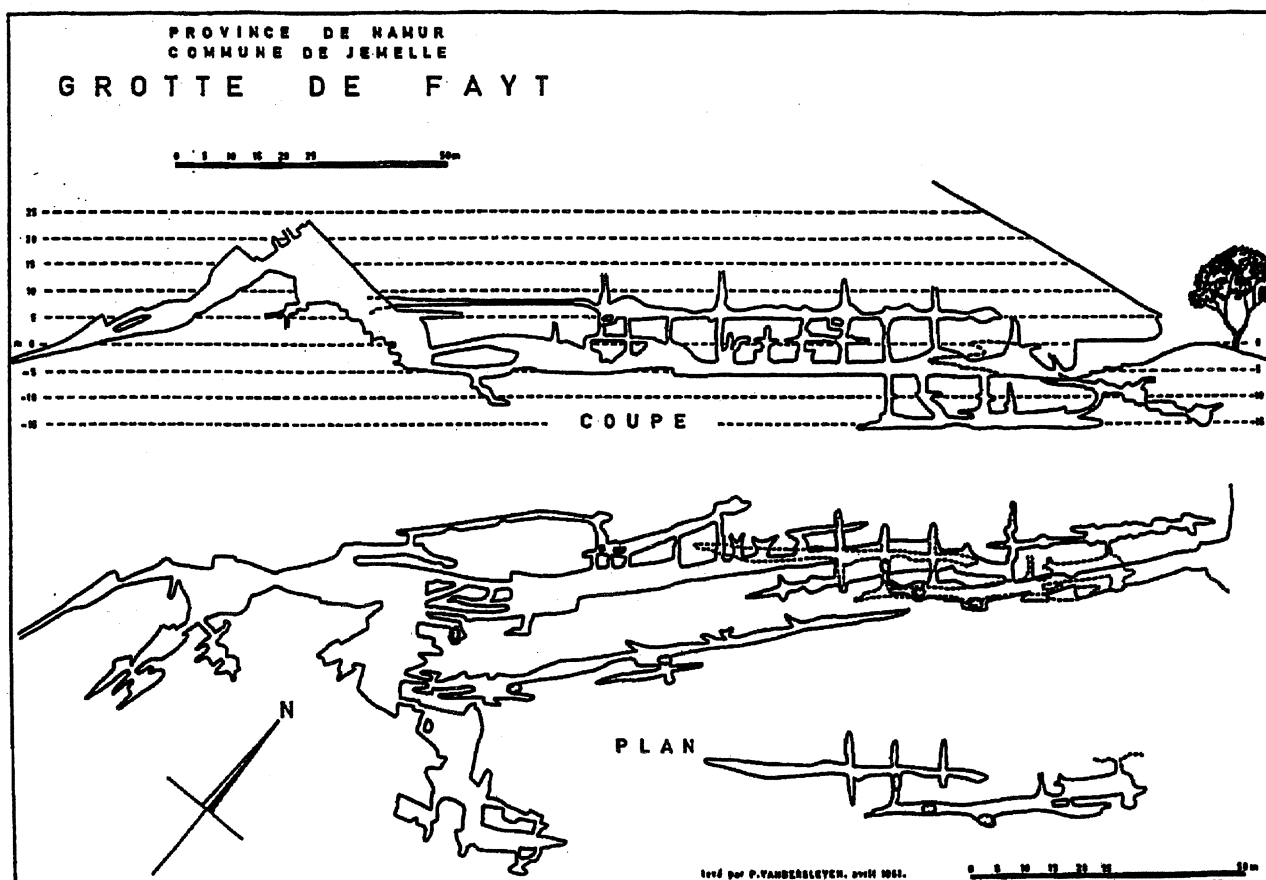
6. Equipement

20 m d'échelle et/ou corde pour accéder au réseau inférieur.

7. Morphogenèse de la grotte

La grotte du Fayt s'ouvre à 18 m au-dessus de la Lomme et se développe dans les calcaires givétiens. Il est plus que probable que la grotte fait partie du système karstique de On-Eprave. Sans doute s'agit-il d'une ancienne perte de la Lomme. D'après Van den Broeck, Martel et Rahir, dans «Cavernes et rivières souterraines de la Belgique», la grotte du Fayt serait en relation avec le Pré-au-Tonneau distant de 1300m dans le prolongement de la galerie principale.

Le creusement de la Grotte du Fayt est contrôlé par différents facteurs chimiques, minéralogiques et cristallographiques (dissolution différentielle entre différents bancs calcaires) ainsi que par différents facteurs structuraux. (la disposition des bancs calcaires, les dia-



clases et les failles (actives ?). Les bancs de calcaire givétien sont presque verticaux et orientés NE-SO. Les galeries suivent cette direction, elles sont assez hautes et parfois étroites. Certains bancs ont été plus facilement dissous que d'autres probablement par une différence en dimension des cristaux, en teneur en argile ou en porosité. Il en résulte des galeries parallèles. L'agrandissement des diaclases permet de passer d'une galerie à l'autre. Ainsi, une lucarne dans la galerie d'entrée, permet de passer dans la galerie principale. La grotte a été creusée sur plusieurs étages, également reliés entre eux par les diaclases agrandies ainsi que par des effondrements. Jusqu'à la première Salle des éboulis, de nombreuses formes de dissolution sont visibles (coupes, plafonds plats, conduites forcées, etc...).

A partir de la Salle des éboulis, la morphologie de la grotte change radicalement, les formes de dissolution deviennent rares, il n'y a plus de galeries étagées, les parois sont anguleuses et très fracturées, des blocs tombent du plafond, ... Au-dessus du premier éboulis on observe des bancs calcaires tordus. La paroi gauche de la salle, en montant l'éboulis suit probablement

un plan de faille. Plus loin, au-dessus de l'éboulis et dans les réseaux annexes se trouvent des concrétions fracturées et broyées.

Cette partie de la grotte, bien que creusée au départ par l'eau a visiblement été retravaillée par une tectonique récente.

A un certain moment de son histoire, la grotte a été presque entièrement colmatée par de la matière détritique (boue, sable, galets, ...), surmontée ensuite par de la calcite (plancher stalagmitique). Ultérieurement, lors d'une nouvelle phase « active » de la grotte, le tout a été dissous et emporté et aujourd'hui restent comme seuls témoins, les bords de l'ancien plancher stalagmitique à +/- 1m80 de hauteur à plusieurs endroits dans la grotte.

De nos jours, seul la galerie inférieure est encore active. Toutefois, le courant trop faible ne permet pas de déterminer le sens de l'écoulement.

S'agit-il d'une perte de la Lomme ou d'une résurgence drainant la montagne du Fayt ? Même si la première hypothèse semble la plus probable et même si des témoignages assez vagues parlent de courant lors de crues, sans preuves la question reste ouverte.

Journée du samedi 18 novembre 2000

(Les présentations **en gras** sont publiées dans les présents actes)

Conférence :

- La biospéologie de l'Europe Orientale.
Petar BERON, Musée National d'Histoires Naturelles de Sofia (Bulgarie).

Communications :

- Relations entre la couleur et la composition chimique des dépôts en grottes.
Gwendoline DERWAHL, Université de Liège.
- **La faune du milieu hyporéique et aquifère.**
Michel DETHIER, Laboratoire de biologie souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul.
- **La faune du milieu souterrain superficiel.**
Jean-Marie HUBART, Laboratoire de biologie souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul.
- Les Oribates terrestres des grottes européennes.
Xavier DUCARME, G. WAUTHY et Ph. LEBRUN, Unité d'Écologie et de Biogéographie (UCL/ECOL), Fonds national de la Recherche scientifique.
- **Karst profond dans le Viséen du sondage de recherche géologique de Fouron-le-Comte.**
Michiel DUSAR, Service Géologique de Belgique - Continent 7.
- **Hypsométrie des grottes de versant dans les vallées de l'Ourthe et de la Lesse inférieure.**
Jean GODISSART, Union Belge de Spéléologie.
- **Les travaux spéléologiques belges au Mexique.**
Richard GREBEUDE, Spéléo Club de Belgique et G.S.A.B.
- Traçages dans le massif du Ger (Eaux-Bonnes, Pyrénées Atlantiques, France).
Philippe MEUS, Continent 7.
- **Les squelettes préhistoriques de l'abri des Autours à Anseremme, Dinant.**
Caroline POLET et Nicolas CAUWE, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique.
- Creusement des grottes et tectonique.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.
- **Hochifen et Gottesackerplateau (Alpes bavaroises), un terrain de recherches spéléologiques international.**
Gaëlle & Wilfried ROSENDAHL,
Geologisch-Palaontologisches Institut TU Darmstadt, Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher
- **La Lesse souterraine de Furfooz à Chaleux, coloration 1999.**
Eric VANDENBROECK, H.A.D.E.S.
- **Les concrétions, enregistreurs naturels.**
Sophie VERHEYDEN, CSARI - SCB - VUB.
- **Problématique des karsts en roches silicatées non carbonatées.**
La grotte Mfoula, un cas dans les gneiss du Sud Cameroun
Luc WILLEMS, Université de Liège. Laboratoire de Géologie et Géomorphologie du Quaternaire.

Posters :

- La revue "Collections".
Robert DEJARDIN, Groupe Spéléologique du Redan.
- La nouvelle topographie de la grotte de Hotton.
Yves DUBOIS, Spéléo Club de Belgique.
- Hommage à André Lachambre.
Claude MASSART, G.R.S.C.
- **Etude fine des fluctuations de niveau d'eau dans quelques systèmes karstiques belges : premiers résultats.**
Philippe MEUS, Continent 7.
- L'énigme de l'alimentation des deux résurgences du méandre de Fêchereux est résolue.
José SCHOONBROODT, G.R.S.C.
- Spéléologie sur le Ger.
Jean-Claude London, Continent 7.
- Investigation on radon concentrations under the Vianden storage reservoir,
Antoine Kies et François Massen, Centre Universitaire de Luxembourg.

Excursion (dimanche 19 novembre) :

- La nouvelle Galerie de la grotte de Rochefort.
Yves QUINIF, Faculté Polytechnique de Mons.

La faune du milieu hyporéique et aquifère.

Michel DETHIER

Laboratoire de Biologie Souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul

Rue du Cimetière, 91 - 4030 Grivegnée

michel.dethier@arcadis.be

Résumé

Cet article présente un milieu souterrain normalement inaccessible aux spéléologues ainsi que les techniques permettant d'en récolter la faune et de l'étudier.

Abstract

This paper describes the unaccessible, phreatic part of the subterranean ecosystem. Sampling techniques of the invertebrate fauna are also discussed.

Mots clefs

Zone phréatique - Faune invertébrée - Techniques de récolte.

Keywords

Phreatic zone - Invertebrate fauna - Sampling techniques.

1. Introduction

En dépit de leur nombre et de la longueur des galeries de certaines d'entre elles, les grottes pénétrables par l'homme ne constituent qu'une infime fraction du monde souterrain. Le milieu interstitiel aquatique (97% des eaux douces sont souterraines!) et le milieu souterrain superficiel multiplient sans doute par 1000 les possibilités d'habitats pour la faune microcavernicole, à tel point que les grottes peuvent être considérées comme des «annexes», des «accidents» de ce gigantesque réseau. On peut même penser qu'il constitue le véritable milieu de vie des espèces troglobies et qu'il nous réserve encore bien des surprises. Le problème est d'y accéder pour en étudier la faune. Dans cet article, nous présentons des techniques permettant de surmonter cette difficulté.

2. Les aquifères

2.1. Définitions et rappels

Beaucoup d'espèces aquatiques figurent parmi les premiers animaux troglobies étudiés : le Protée et les *Niphargus* constituent deux bons exemples. Ainsi, très tôt, la Biospéologie et l'Ecologie des eaux souterraines, travaillèrent de concert et il en va encore de même à l'heure actuelle (Gibert, 1991a et b; 1992). Si, dans les premiers temps, on recueillait les espèces aquatiques dans des collections d'eau libre (gours, rivières et lacs souterrains), on s'efforce aujourd'hui de les traquer jusqu'au cœur des aquifères, des énormes masses d'eau baignant les moindres interstices de la roche et des sédiments.

Les aquifères peuvent être classés en fonction de l'origine des eaux (souterraine ou de précipitation), ainsi que selon la nature géologique du terrain. On distingue

alors des aquifères poreux ou alluviaux, très homogènes (substrats fins), relativement peu perméables et que l'eau met des années à traverser, des aquifères fissurés (surtout en terrains granitiques) et des aquifères karstiques (en terrains calcaires), beaucoup plus hétérogènes, que l'eau peut traverser parfois en seulement quelques heures (Marmonier & al., 1993). Dans ces différents types, l'espace disponible pour les organismes n'est évidemment pas le même. On parle aussi de milieu phréatique pour les sédiments poreux des nappes, de milieu hyporhéique ou interstitiel quand il s'agit des sous-écoulements de cours d'eau superficiels et de milieu hypothelminorhéique à propos des eaux baignant les dépôts colluviaux de la zone superficielle d'altération des roches.

Les conditions de vie dans ces milieux sont assez comparables à celles régnant dans les grottes : absence totale de lumière, température assez constante, apports trophiques rares et épisodiques. On peut cependant y observer d'importantes variations de pression, en fonction de la quantité d'eau qui y circule (Creuzé des Châtelliers & al., 1991).

2.2. La faune des aquifères

Tous les groupes d'invertébrés sont pratiquement représentés dans ces milieux, mais les Crustacés (en particulier les Entomostracés) sont particulièrement abondants : parfois plus de 50% des espèces (Creuzé des Châtelliers & Poinssart, 1991). Les rapports qu'entretiennent ces organismes avec leur milieu permettent de les regrouper en trois catégories, très comparables à celles proposées par Racovitza pour les animaux cavernicoles «classiques» : troglonexes, troglaphiles et troglobies (Hubart & Dethier, 1999).

On distingue donc (Marmonier & al., 1993) des stygoxènes, organismes épigés qui ne se rencontrent

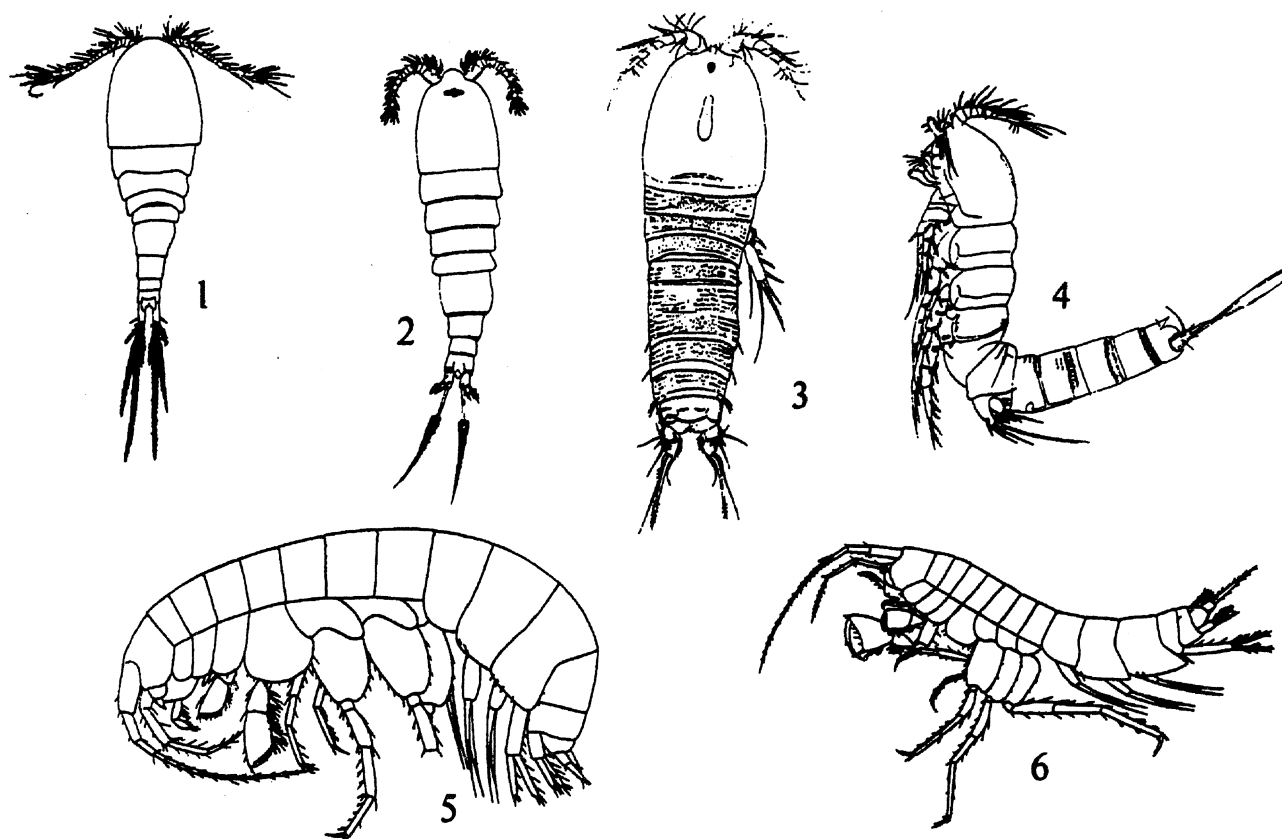


Figure 1 : Quelques éléments de la faune des aquifères (tiré de Leruth, 1939) Copépodes (env. 1-2 mm) :

1. *Acanthocyclops sensitivus* Graeter & Chappuis (troglobie);
2. *Graeteriella unisetigera* (Graeter) (troglophile);
3. *Echinocamptus praegeri* Scourfield (troglophile);
4. *Attheyella crassa* (Sars) (troglophile). Amphipodes (+/- 1 cm);
5. *Crangonyx subterraneus* Bate (troglobie);
6. *Niphargus kochianus dimorphopus* Stock & Gledhill (troglobie).

là que par hasard ou viennent y chercher un abri temporaire (assechement ou pollution des eaux de surface), des stygoxènes, certains ayant encore un stade épigé, d'autres passant toute leur vie dans les aquifères, sans présenter pour autant des adaptations morphologiques à ce type de milieu et enfin des stygoxies, complètement adaptés à ce mode de vie (anophtalmes, dépigmentés, appendices allongés, diminution du nombre d'oeufs mais augmentation de leur taille, métabolisme ralenti, grande faculté de jeûne,...). Certains sont ubiquistes et se rencontrent dans tous les types d'eaux souterraines, d'autres sont phréatobies et ne vivent que dans les aquifères poreux,...

Les stygoxènes et les stygoxies (qu'il n'est pas toujours aisé de séparer) comptent des larves et des adultes d'insectes aquatiques (Diptères, Ephéméroptères, Plécoptères du genre *Leuctra*, Trichoptères, Coléoptères Elmidae, Hétéroptères Aphelocheiridae, etc.), des Crustacés Amphipodes et Isopodes (*Gammarus*, *Asellus*) et des Entomstracés (Cladocères), ainsi que des Mollusques (*Pisidium*), des Vers (Nématodes), etc.

A l'instar des troglobies, les stygoxies sont les organismes les plus intéressants. Chez nous, on trouve

des Amphipodes des genres *Niphargus*, *Crangonyx*,... (en France, on trouve encore *Niphargopsis*, *Salentinella*,...), des Isopodes du genre *Proasellus* (en France, il y a aussi *Microcharon*, *Stenasellus*, *Sphaeromides*,...), des Copépodes (*Diacyclops*, *Elaphoidella*,...), des Ostracodes (*Pseudocandona*, *Schellencandona*, *Cryptocandona*,...), des Hydracariens (*Soldanellonyx*, *Feltria*,...), des Plathelminthes (*Dendrocoelum*), des Oligochètes (*Trichodrilus*, *Haplotaxis*), des Mollusques (*Avenionia*, en France *Moitessieria*,...), etc. (Creuzé des Châtelliers & al., 1991; Creuzé des Châtelliers & Poinart, 1991; Hubart & Dethier, 1999).

La plupart de ces animaux ne mesurent que quelques millimètres, beaucoup ont même une taille inférieure au millimètre.

2.3. La récolte de la faune des aquifères

Les premières récoltes ont été effectuées dans les «expressions» accessibles des eaux souterraines : sources, résurgences et puits ont déjà fait l'objet de nombreux échantillonnages. Dans les premiers, on utilise des filets de dérive qui filtrent l'eau jaillissant du milieu souterrain en retenant les organismes qui y vivent ou

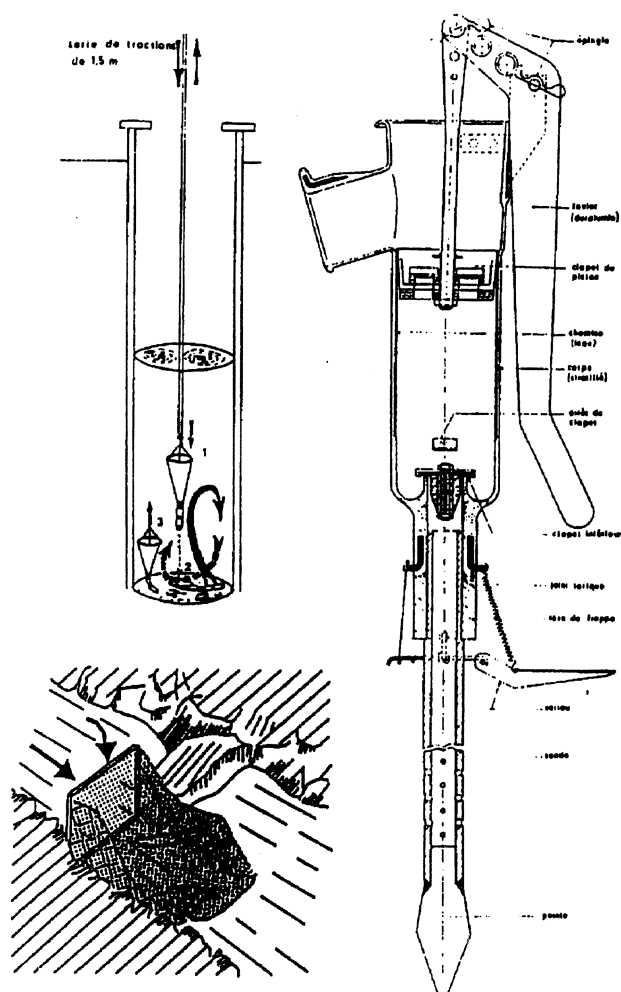


Figure 2 : Techniques de récolte.

En haut, à gauche : filet phréatobiologique de Cvetkov dans un puits. En bas : filet de dérive dans une résurgence. A droite : pompe de Bou-Rouch (schéma).

qui sont entraînés par le courant. Dans les puits atteignant la nappe phréatique, on se sert d'un filet planctonique, ou plus exactement phréatobiologique, de Cvetkov. Les mouvements imprimés à ce filet par l'opérateur délogent les nombreux petits Crustacés qui se tiennent souvent accrochés aux parois de l'ouvrage.

Dans tous les cas où les eaux souterraines sont accessibles au biospéologue, on immerge des nasses ou des substrats artificiels. Ce sont en général des filets imputrescibles à mailles fines ou des manchons percés de trous et garnis de feuilles mortes ou de tout autre attractant. En relevant ce type de piège, on prendra garde à ne pas perdre la récolte en empêchant l'eau de s'écouler par les mailles ou les orifices.

Dans les aquifères poreux (sables, graviers,...), on utilise de plus en plus des sondages tubés. Pour cela, on se sert d'une pompe proposée par Bou et Rouch en 1967 déjà. Elle consiste en un tube métallique d'environ 1,5 m de longueur et de quelques cm de diamètre. L'extrémité inférieure est obturée par un cône en acier suffisamment résistant pour supporter l'enfoncement brutal du tube. Un peu au-dessus de ce cône sont percés des trous de 5 mm de diamètre, espacés d'environ 15 mm et cela sur une hauteur de 15 cm. L'extrémité supé-

rieure est aménagée de manière à recevoir une pompe aspirante à piston vertical. Cet appareil a largement fait ses preuves en France et a permis la découverte et l'étude de très nombreuses espèces stygobies (Creuzé des Châtelliers & Poinsart, 1991; Dole-Olivier & Marmonier, 1992; etc.). Les descriptions détaillées et les limites d'utilisation de ces techniques peuvent être trouvées dans Delamare-Deboutteville (1960), Mathieu & al. (1991) et Creuzé des Châtelliers & Dole-Olivier (1991).

2.4. Répartition spatio-temporelle de la faune des aquifères

Les travaux des chercheurs, en particulier ceux de l'Université de Lyon, ont montré l'existence de gradients chez les communautés interstitielles, riches et diversifiées (on a recensé quelques 40 espèces de stygobies stricts dans le Rhône français). Dole-Olivier & Marmonier (1992) ont par exemple mis en évidence les faits suivants :

- Les stygobies deviennent plus nombreux au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lit du cours d'eau et qu'on s'adresse à des stations alimentées essentiellement par la nappe phréatique et les eaux d'infiltration.
- Ils sont également plus nombreux dans des stations anciennes, qui ne sont plus soumises au cours d'eau lui-même ou à ses crues.
- Enfin, leur nombre augmente aussi avec la profondeur du prélèvement.

2.5. Pollutions et refuges

Comme partout dans le monde souterrain, c'est de l'extérieur qu'arrivent l'essentiel des apports trophiques. Cette manne consiste, pour les organismes stygobies, en animaux tombés à l'eau ou entraînés par les précipitations; parmi ceux-ci, il y a des éléments exogènes (fourmis, acariens, collembolles et autres formes épigées), mais aussi des trogllobies terrestres. En outre, des débris végétaux sont apportés par les eaux d'infiltration et les crues.

C'est par ces mêmes cheminements que divers polluants aboutissent dans les eaux souterraines : pollutions organiques (ménagères, engrais,...) ou toxiques (pesticides, métaux lourds,...) altèrent de plus en plus les nappes phréatiques et les réserves d'eau du sous-sol. Selon leur nature, les aquifères y sont plus ou moins sensibles : en raison de son homogénéité relative et de sa continuité, l'aquifère poreux est le plus exposé.

Une simple pollution organique, qui ne fait finalement qu'apporter un excès de nourriture, a pour effets une augmentation des saprobies indigènes (Isopodes, par exemple), l'arrivée et l'installation en nombre de saprobiontes extérieurs (Oligochètes, Chironomes) et la régression, voire la disparition des stygobies autochtones, organismes généralement polluo-sensibles et peu habitués à une telle concurrence. Un phénomène très comparable se déroule dans un cours d'eau épigé soumis à ce genre de pollution.

Or, les organismes stygobies jouent un rôle important dans l'autoépuration des eaux souterraines en remuant le substrat (bioturbation) et en assimilant les (rares) matières organiques (biotransformation). Ainsi, en

partie grâce à eux, les aquifères poreux fonctionnent comme des filtres. Mais il y a un seuil, très rapidement atteint, et au-delà duquel il est difficile de revenir en arrière (Creuzé des Châtelliers & al., 1991). On a émis l'idée, à diverses reprises, d'établir un indice de qualité biologique calqué sur ceux utilisés pour les eaux de surface mais basé ici sur la faune aquatique souterraine. A notre connaissance, rien de concret n'a encore été fait dans ce sens.

Enfin, les aquifères servent de refuge à certains organismes benthiques des eaux superficielles en cas d'étiage marqué ou de pollution passagère, offrant ainsi la possibilité d'une recolonisation du cours d'eau après l'épisode critique : on connaît les cas des larves de *Leuctra* (Plécoptère) et de *Sympetrum* (Odonates). Nous avons nous-même observé ce phénomène pour les larves de *Capnia bifrons* (Plécoptère) dans un petit ruisseau du bassin genevois à sec en été.

3. Bibliographie

- Bou Cl. & Rouch R., 1967. Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine. C.R. Acad. Sc. Paris, 265 (D) : 369-370.
- Creuzé des Châtelliers M. & Dole-Olivier M.-J., 1991. Limites d'utilisation du sondage de type Bou-Rouch pour la capture de la faune interstitielle. 1. Traçage chimique au chlorure de sodium. C.R. Acad. Sc. Paris, 312 (III) : 671-676.
- Creuzé des Châtelliers, M. & Poinsart, D. 1991. Caractéristiques des aquifères alluviaux et diversité faunistique du sous-écoulement du Rhône. Hydrogéologie, 3 : 201-215.
- Creuzé des Châtelliers M., Turquin M.-J. & Gibert J., 1991. Les aquifères : des systèmes biologiques. Hydrogéologie, 3 : 163-185.
- Delamare-Deboutteville Cl., 1960. Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. Ed. Hermann, Paris, 740 pp.
- Dole-Olivier M.-J. & Marmonier P., 1992. Patch distribution of interstitial communities : prevailing factors. Freshwater Biology, 27 : 177-191.
- Gibert J., 1991a. Groundwater systems and their boundaries : conceptual framework and prospects in groundwater biology. Verh. Internat. Verein. Limnol., 24 : 1605-1608.
- Gibert J., 1991b. Les écotones souterrains/superficiels : des zones d'échanges entre environnements souterrain et de surface. Hydrogéologie, 3 : 233-240.
- Gibert J., 1992. Groundwater ecology from the perspective of environmental sustainability. 1st Int. Conf. on Groundwater Ecol., 3-13.
- Hubart J.-M. & Dethier M., 1999. La faune troglobie de Belgique : état actuel des connaissances et perspectives. Bull. Soc. r. belge Ent., 135 : 164-178.
- Marmonier P., Vervier, Ph., Gibert, J. & Dole-Olivier M.-J., 1993. Biodiversity in Ground Waters. Tree, 8 (11) : 392-395.
- Mathieu J., Marmonier P., Laurent R. & Martin D., 1991. Récolte du matériel aquatique souterrain et stratégie d'échantillonnage. Hydrogéologie, 3 : 187-200.

Le milieu souterrain superficiel

Jean-Marie HUBART

Laboratoire de Biologie Souterraine des Chercheurs de la Wallonie à Ramioul

Rue de Petit-Fraineux, 40, 4550 SAINT-SEVERIN

jm.hubart@wanadoo.be

Résumé

Une description et quelques explications sur le Milieu souterrain superficiel sont fournies. Une méthode de recherche de la faune dans ce milieu particulier et quelques conseils sont proposés.

Abstract

Description of the epikarst ecosystem under soil cover. A method for collecting fauna in this peculiar environment is suggested.

Mots-clés

Biospéologie - Milieu souterrain superficiel - Faune troglobie.

Keywords

Biospeology - Superficial underground environment - Troglobiont fauna.

1. Introduction

Nous nous proposons de fournir ci-après quelques explications sur l'existence d'un milieu souterrain dont la description n'est pas très ancienne et dont l'exploration, surtout en Belgique, n'a fait l'objet que de trop rares tentatives. Les résultats sont pourtant encourageants.

Cela demande un détour par le passé.

2. Rappel historique

La Biospéologie est une science jeune, qui date en fait du début du siècle lorsque Racovitza en définit les règles en 1907 en secouant tout ce qui avait été fait avant lui, sans grand égard il faut l'admettre, dans son mémoire intitulé «Essai sur les problèmes biospéologiques».

Ce fut le début d'une ère simple, confortable si l'on peut dire : il y avait les grottes calcaires, où vivait une faune très particulière, et le reste de la biosphère.

Malheureusement, si l'on peut dire, on s'aperçut bientôt que cette imprenable forteresse était difficile à défendre. Déjà, certains avaient eu la malencontreuse idée de découvrir des Stygobies en milieux non karstiques et même en dehors des grottes. Et puis, surtout, ce fait démoralisant que la plupart des troglobies, même les plus communs, surtout les Coléoptères troglobies terrestres, n'avait jamais été trouvés dans les grottes qu'à l'état adulte : on en capturait des milliers, mais jamais le moindre œuf, la moindre larve, la moindre nymphe n'avait pu être découverte. Cette lacune lancinante incita Jeannel à inventer le réseau des fentes, en fait «l'habitat phréatique terrestre» et «la zone des fentes périodiquement inondées». Le fourre-tout idéal, où ranger tous les stades juvéniles des Troglobies, jamais découverts en grottes. Un concept purement virtuel, mais assez commode et confortable en somme puisque, cela tombe sous le sens, son existence et sa colonisation par les troglobies était impossible à vérifier.

Leruth se posait la question en 1939 : les fentes, simple voie d'accès ou véritable habitat des troglobies (on parla même d'hypertroglobies à l'époque) ? Il poursuivait : «question d'autant plus oiseuse que personne n'a jamais été voir dans les fentes ce qui s'y passe» (Leruth, 1939). Vandel, qui croyait au domaine des fentes, tout en estimant que son importance avait été exagérée et que, étant inaccessible à l'homme, il resterait toujours inconnu, réussit pourtant à lui donner un début de réalité lorsqu'il découvrit, avec Michel Bouillon, dans la Grotte Sainte-Catherine à Balaguères, que les Aphaenops se réfugiaient dans les fentes existant entre les coulées stalagmitiques et la roche en place et y construisaient des logettes (Vandel, 1964).

Mais c'était bien insuffisant pour résoudre les problèmes auxquels étaient confrontés les Biospéologues, car un vague décollement entre les coulées stalagmitiques et la roche calcaire est fort éloigné du concept de réseau des fentes, celui-ci ayant pour origine des accidents tectoniques de nature diverse.

Surtout que certains Biospéologues se mirent à découvrir, avec quelque joie ou horreur selon les cas, des troglobies non plus dans les grottes, mais presque en surface, dans les éboulis, et, en plus, en dehors des zones calcaires : dans les schistes, les grès...

Finalement, presque à contrecœur, il fallut bien admettre les évidences et un nouveau milieu fut décrit par Juberthie, Delay et Bouillon (1980a et b ; 1981) : «le Milieu souterrain superficiel», en abrégé le MSS.

Auparavant, avec Michel Bouillon, nous avions entrepris à Ramioul en 1969 et 1970 de démontrer expérimentalement l'existence de ce milieu encore mal défini. En fait, l'expérience était simple, mais devait bien entendu s'étaler sur des années : il suffisait de transplanter dans la Grotte de Ramioul une souche de Coléoptères troglobies originaires des Pyrénées (donc n'existant pas en Belgique) et d'attendre bien tranquillement pour voir s'ils allaient s'adapter dans leur nouveau milieu d'abord, et en-

suite, s'il nous serait possible de les retrouver en surface dans les éboulis qui surplombent la Grotte de Ramioul. L'expérience exigea comme prévu plusieurs années, mais son succès démontra expérimentalement l'existence du MSS (Bouillon et Hubart, 1982 ; Hubart, 1983 ; Brouwir, 1986). Cette expérience nous permit en outre de démontrer que les troglobies peuvent facilement s'adapter à différents milieux, puisque, transplantés dans une zone de calcaire Viséen, nous les avons ultérieurement retrouvés dans les schistes du Namurien (Hubart, 1990).

3. Description du milieu souterrain superficiel (MSS)

Le MSS est constitué par la zone proche de la surface recouvrant la roche-mère et dont les éléments non compacts (éboulis, roches diverses...) présentent une granulométrie permettant à la fois la circulation de la faune et l'apport de ressources trophiques. En effet, la roche en place subit une dégradation continue, suite notamment aux habituels phénomènes climatiques (pluie, gel, action corrosive des eaux acides...). C'est cette zone de cailloux, de blocs de roche dégradée, proche de la surface qui constitue le MSS.

Typiquement et idéalement, nous avons donc (fig. 1) :

- la zone superficielle, constituée de feuilles mortes, d'humus, de racines...
- le milieu souterrain superficiel constitué par un cailloutis provenant de la dégradation de la roche sous-jacente,
- la roche en place, avec ses fentes diverses : joints de stratification, diaclase, failles...
- les grottes, que d'aucun semblent encore considérer comme l'habitat exclusif des Troglobies.

Il est important de faire ici quelques remarques.

- Tout d'abord, le MSS est un milieu très confiné et humide. En fait, il semble constituer un biotope beaucoup plus stable encore que celui des cavernes et convient donc parfaitement à la faune troglobie, d'autant plus qu'il est situé à proximité d'importantes ressources trophiques.

- Le MSS n'est pas toujours et nécessairement d'origine naturelle : à Ramioul, nous avons recueilli des Troglobies dans une zone de type MSS qui n'est autre qu'un éboulis plus que séculaire, dont l'origine est l'exploitation d'une ancienne carrière.

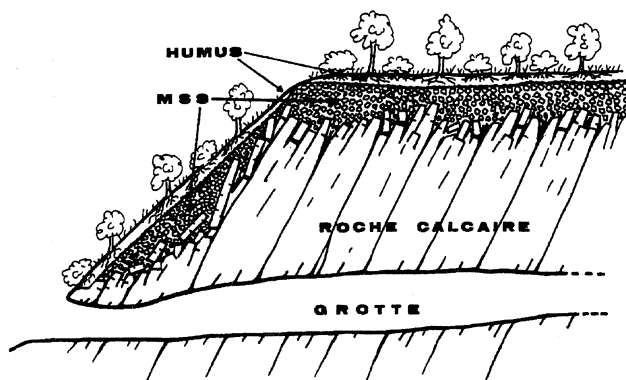


Figure 1 : Vue générale en coupe - et idéalisée - de la structure du sol, montrant la localisation du MSS.

- Le MSS n'existe pas seulement en zones calcaires, mais aussi dans des terrains bien différents : schistes, grès... La structure et les caractéristiques climatiques sont similaires, quelque soit le type de roches.

- Il est remarquable que la faune troglobie habitant le MSS montre une parfaite indifférence à l'égard de la nature de la roche, qu'elle soit calcaire ou non. On y rencontre plusieurs espèces de Coléoptères (*Speonomus*, *Troglodromus*), de Diplopodes (*Typhloblaniulus*, *Blaniulus*) et, potentiellement, tous les Troglobies terrestres. Pour ce qui concerne notre expérience à Ramioul, déjà citée, rappelons que *Speonomus longicornis* a colonisé les schistes du Namurien, où nous l'avons retrouvé dans une ancienne galerie de mine en 1990, alors que l'espèce avait été introduite dans le calcaire Viséen de la Grotte de Ramioul en 1969. Cette galerie est située à quelque 120 mètres de la Grotte. Nous espérons y poursuivre nos investigations, malheureusement, un éboulement rendit son accès impossible durant de longues années ; cependant, nous l'y avons retrouvé tout récemment avec notre Collègue M. Dethier.

4. Méthode de recherche

(peut-être pas la meilleure au demeurant...)

Contrairement au réseau des fentes qui nous reste inaccessible par définition et sans doute définitivement, le MSS peut parfaitement être exploré, mais non sans de grosses difficultés. Il faut bien le reconnaître : si, comme nous l'avons dit, nos résultats sont encourageants, les travaux à effectuer sont eux de nature à décourager les plus passionnés.

- Tout d'abord, si les zones de MSS, contrairement aux grottes, ne sont pas restreintes aux sol calcaires, elles n'en sont pas pour autant plus faciles à découvrir, étant en général dissimulées sous un couvert végétal plus ou moins épais et touffu. Elles ne sont pas aussi apparentes que l'entrée du Trou al Wesse et découvrir un endroit favorable à la prospection est loin d'être évident, exige du flair, de l'intuition et surtout une solide dose de chance.

- Les investigations dans le MSS imposent un travail pénible, minutieux et parfois long. Nous prions le lecteur de nous excuser si, dans ce qui va suivre, on croirait lire une recette de cuisine :

Tout d'abord, après avoir repéré un endroit qui vous paraît propice, enlevez soigneusement les feuilles mortes, l'humus, les racines et autres matières organiques de la couche superficielle. Mettez le tout soigneusement de côté, vous en aurez encore besoin.

Ensuite, creusez dans le MSS un trou de 30 à 50 centimètres, c'est déjà bien. Ce creusement, par définition, s'effectue dans une sorte de cailloutis instables, disons même dans un état d'éboulement permanent. Souvent pénible et toujours éprouvant pour les nerfs. Mettez soigneusement de côté toutes les pierres retirées du MSS. Lorsque vous avez atteint la profondeur souhaitée, gardez votre calme : c'est habituellement l'instant où tout s'effondre. Reprenez alors l'opération depuis le départ.

Placez avec soin au fond du trou un petit pot contenant l'appât et un produit conservateur (fig. 2). Protégez son orifice sous une pierre plate. Remettez soigneusement en place par dessus tous les éléments du MSS précédemment retirés. Une fois cette opération terminée, recouvrez le tout avec l'humus, les racines et les feuilles et tassez soigneusement pour éviter les courants d'air.

En fait, idéalement, à part la présence du bocal, rien ne doit avoir changé dans le biotope ainsi reconstitué. Laissez agir pendant 2 ou 3 semaines. A ce moment, refaire toute l'opération (en sens inverse) pour la récolte.

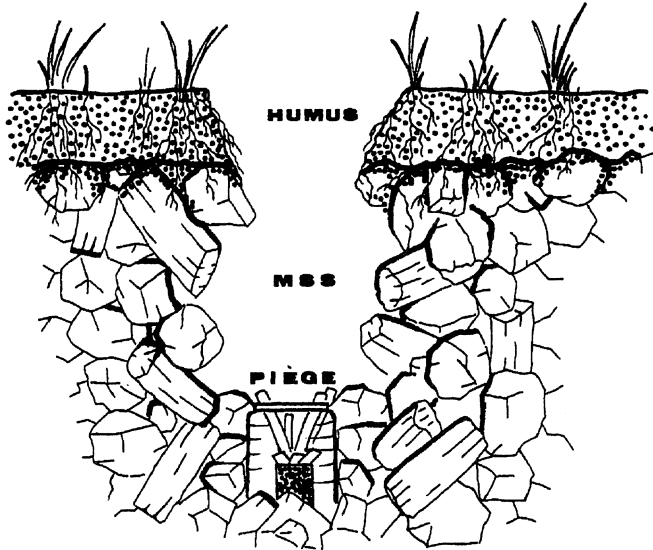


Figure 2 : Placement d'un piège dans le MSS. Le pot contient un liquide conservateur et un petit tube où est disposé l'appât.

Il est à noter que le MSS n'est pas toujours horizontal. S'il est constitué par un éboulis incliné, il est recommandé de creuser non plus un trou vertical, mais bien une sorte de tunnel où placer le piège, ce qui est une opération encore plus jouissive que la précédente (fig. 3). A propos des figures 2 et 3, inutile de vous demander comment cela tient : en général cela ne tient pas.

Très important : Repérez et notez très soigneusement l'endroit où vous avez placé votre piège afin d'être certain de le retrouver facilement. Ne vous fiez en aucun cas à votre seule mémoire ! **Je rappelle qu'un piège oublié ou abandonné reste actif durant très longtemps et constitue une grave menace pour la faune.**

5. Conclusion

Le MSS est un biotope offrant un large potentiel de recherches et de découvertes intéressantes. Il est malheureusement sous-exploré, en Belgique tout au moins, sans doute pour des raisons décrites au chapitre précédent. En fait, à part l'auteur, je crois que quatre personnes seulement ont osé s'attaquer à ce redoutable

adversaire : nos ami(e)s C. Brouwir, A. Lombet, M. Dethier et A. Vivier, dans l'ordre chronologique.

Nous avons rédigé cette note dans l'espoir de susciter quelques vocations.

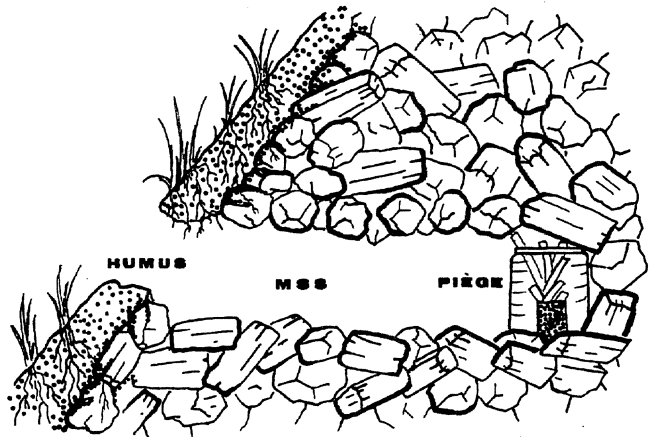


Figure 3 : Le MSS n'étant pas toujours horizontal, il est parfois nécessaire de creuser un tunnel pour y introduire le piège.

6. Bibliographie

- Bouillon M. et Hubart J.-M., 1982. « Premiers résultats d'une expérience de transplantation de cavernicoles pyrénéens dans une grotte de Belgique », Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologiques «Les Chercheurs de la Wallonie», 25 : 97-106.
- Brouwir C., 1986. Démographie d'un peuplement de Coléoptères troglobies (Genre *Speonomus*) dans une grotte belge et aspects de leur biologie. Université de Liège, Faculté des sciences, mémoire présenté pour l'obtention du grade de Licenciée en Sciences Zoologiques. 56pp.
- Hubart J.-M., 1983. « Note sur le Milieu souterrain superficiel de Ramioul », Bulletin de la Société de recherches biospéologiques, 1 : 14-21.
- Hubart J.-M., 1990. « Introduction de Coléoptères troglobies pyrénéens dans la Grotte de Ramioul (Flémalle, Belgique). Nouvelles données et bilan actuel », Bulletin de la Société royale belge d'études géologiques et archéologiques «Les Chercheurs de la Wallonie», 30 : 103-113.
- Juberthie C., Delay B. et Bouillon M., 1980a. « Sur l'existence d'un milieu souterrain superficiel en zone non calcaire ». C. R. Acad. Sc. Fr., 290 : 49-52.
- Juberthie C., Delay B. et Bouillon M., 1980b. « Extension du milieu souterrain en zone non calcaire : description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les Coléoptères troglobies ». Mémoires de Biospéologie, 7 : 19-52.
- Juberthie C., Delay B. et Bouillon M., 1981. « Sur l'existence d'un milieu souterrain superficiel en zone calcaire ». Colloque de Biospéologie, La Chapelle en Vercors. Mémoires de Biospéologie, 8 : 77-93.
- Leruth R., 1939. La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique. Bruxelles. Mémoire du Musée royal d'Histoire naturelle, 87 : 65-69.
- Vandel A., 1964. Biospéologie. La biologie des animaux cavernicoles. Gauthier-Villars. Paris : 343-346.

Karst profond dans le Viséen du sondage de recherche géologique de Fourn-le-Comte.

Michiel DUSAR

Service géologique de Belgique

Rue Jenner 13 - 1000 Bruxelles

michiel.dusar@pophost.eunet.be

Résumé

Le sondage de Fourn-le-Comte a traversé deux zones karstiques dans les calcaires viséens, situées à 193 m et 853 m de profondeur. Le sommet altéré des calcaires est couvert d'un paléosol associé au paléokarst profond, daté du Crétacé. La composition des eaux de ces deux zones karstiques profondes est en équilibre avec les sources locales bien que le karst est développé en aquifère confiné. La recharge des eaux et la relation avec les sources thermales de la région restent à élucider.

Abstract

The geological reconnaissance borehole 's Gravenvoeren has traversed a thick sequence of Visean limestones containing karst horizons at depths of 193 m (open cavities) and 853 m (dissolution in fault zone). Both karst zones are very productive, and could be used for drinking water supply and geothermal purposes respectively. The geological history includes the formation of a paleosol and associated deep paleokarst during the Cretaceous, and karst reactivation during recent times, despite the confined nature of the Visean limestone aquifer. Karst waters are very fresh and moderately alkaline. Water from the cavities is comparable to local springs draining the overlying Cretaceous chinks, water from the deep fault to the springs draining Carboniferous rocks, both implying rapid water circulation in open conduits with deep loops. Water temperature in the cavities is not in agreement with the normal geothermal gradient. The open borehole connection between both karst horizons caused an invasion and temporary cooling of the lower horizon, which was stopped by deposition of cave clay at the bottom of the borehole. Hydrostatic pressure differences between the karst water in the borehole and the superficial hydrographic network do not indicate direct connections; the karst system rather seems in equilibrium with the Berwinne river 3 km to the west. The relationship between the cold karst system encountered in this well and the mineralised thermal wells in the surroundings needs to be elucidated.

Mots-clés

Forage - Paléokarst - Crétacé - Viséen - Belgique.

Keywords

Borehole - Paleokarst - Cretaceous - Visean - Belgium.

1. Pourquoi un sondage de recherche géologique ?

Le sondage de reconnaissance géologique de Fourn-le-Comte ('s Gravenvoeren) a été foré par le Service géologique de Belgique en 1986, suivi par des essais hydrologiques en 1987 (archivage GeoDoc 108W359, coordonnées Lambert X 248486 Y 161971, Z 95.76 m, profondeur 865 m). Les objectifs du sondage étaient l'évaluation du potentiel géothermique et la vérification d'un bassin sédimentaire nommé 'Visé-Puth', découvert par les forages pour eaux minérales de Maastricht (Bless et al., 1981). Le sondage a été foré en destructif jusqu'à 107 m, puis carotté dans les calcaires sains. L'exécution d'une série fort complète de diagraphies géophysiques a pourtant permis de définir les propriétés physiques de la partie non-carottée et des zones fissurées ou karstifiées. Le puits existe toujours et peut servir à des études hydrologiques (Lie & Maes, 1990).

2. Stratigraphie

Le sondage vertical a traversé successivement 14 m de limons et colluvions quaternaires, 11 m de craies (Craie de Vylen, base du Maestrichtien, Crétacé supérieur), et 840 m (ou 650 m en stampe normale, après compensation pour la pente tectonique d'environ 40° vers le NW) de calcaires datés du Viséen moyen à supérieur. L'environnement sédimentaire et la composition des calcaires confirment l'existence d'un bassin à subsidence rapide pendant le Viséen : déposition de sédiments carbonatés dérivés de la plate-forme de Visé toute proche par courants turbiditiques sur une rampe instable et remplissage d'une mer profonde (Poty, 1982). De 865 m jusqu'à 285 m ont été rencontrés des calcaires foncés très fins parfois siliceux (wackestones), interrompus de niveaux plus grossiers même conglomératiques composés de débris de fossiles et de calcaires (rudstones). De 285 m jusqu'à 90 m, des calcaires grenus plus clairs (packstones) certifient que le fond de la mer était déjà dans la zone photique.

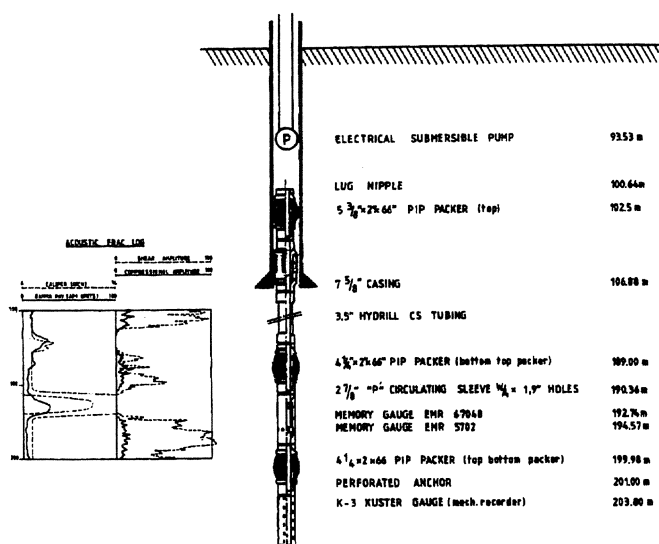
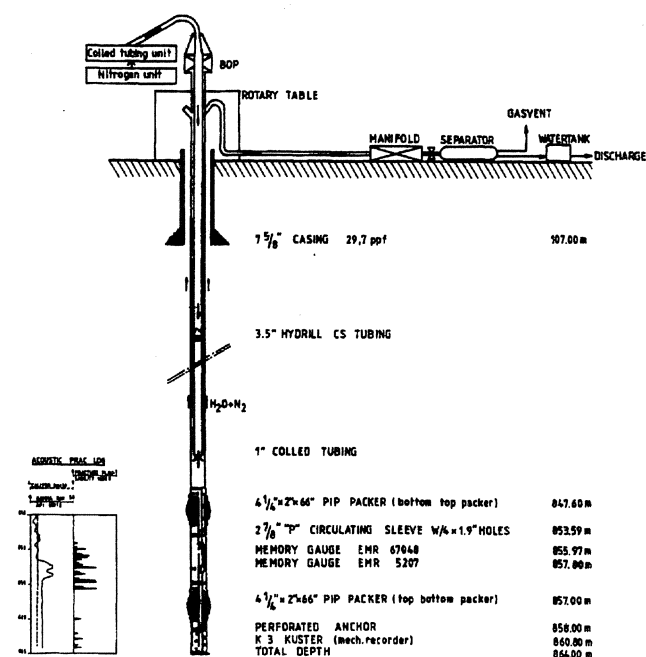


Figure 1a-b : essais de pompage dans les zones karstiques, isolées par des systèmes de packers, par pompe submersible (niveau 193 m) et par air-lift (niveau 853 m).

3. Paléosol et paléokarst du Crétacé

Le sommet des calcaires viséens a d'abord été affecté par une karstification précoce suivie d'une silicification profonde, probablement d'âge carbonifère post-viséen (épaisseur préservée 65 m ; intervalle 25-90 m)-(Tableau 1). Ensuite, les silicites ainsi formés ont été transformés par un paléosol tropical kaolinisé, blanchi ou rubéfié dans la zone supérieure, enrichi de matière organique carbonisée et noirci dans la zone inférieure (épaisseur préservée 30 m), comparable aux paléoaaltérations observées en Haute Ardenne et au sommet du socle du Massif de Brabant (Dupuis et al., 1997), et plus proche, dans la vallée de la Meuse entre Visé et Lixhe (Dusar, 1999). Le paléosol est d'âge Crétacé, antérieur à la transgression marine dont l'âge local est Campanien (Crétacé supérieur). Ce paléosol s'est formé sur une pénélaine continentale, proche du niveau de la mer. Des phases de compression tectonique pendant le Crétacé ont élevé la région des Fourons, créant un potentiel hydrodynamique.

Les calcaires viséens sous-jacents étaient certainement karstifiés à cette époque. Des spores de plantes terrestres et dulcicoles d'âge santorien (Crétacé supérieur, antérieur aux dépôts crayeux marins) ont été repéré dans une fissure à 271 m de profondeur, dans les calcaires viséens (Batten et al., 1987). Une contamination par les boues de forage ou par circulation d'eau plus récente est exclue à cause de l'absence des strates contenant ces spores (Formation d'Aachen). Pendant le Santorien et le Campanien inférieur, la région des Fourons représentait de toute évidence un plateau karstique surélevé, recouvert d'une plaine alluviale cou-

verte de végétation, avant d'être submergé par la mer campanienne envahissante. Une circulation verticale d'eau douce atteignait alors au moins 250 m de profondeur, emmenant rapidement les spores inaltérées jusqu'au rétrécissement de la fissure. Toutefois, il n'est pas exclu qu'une dissolution et un remplissage en zone phréatique puissent atteindre de si grandes profondeurs, comme le démontre le tunnel géant de Wülfrath (Drozdowski et al., 1998).

4. Essais de pompage

Plusieurs intervalles à fracturation intense ont été reconnus dans les calcaires, autour de 193 m, 395 m, 661 m et 853 m, concentrant la circulation hydraulique et la dissolution karstique (fig. 1). L'intervalle inférieur (profondeur 853 m) est lié au passage d'une faille dolomitisée, ayant créé une grande perméabilité (indice de productivité 17.6 m³/h/bar). L'eau produite de cette faille est très douce à forte alcalinité et fort similaire aux

orifice	+ 96	Quaternaire	+ 82
		Crétacé	+ 71
ruisseau du Fouron	+ 80-85	Viséen :	
Berwinne à Berneau	+ 72	paléosol blanc	+ 54
nappe du Carbonifère	+ 69	paléosol noir	+ 41
		silicites	+ 6
cavités	- 90-98		
		spores du Crétacé	- 175
faille karstifiée	- 757		
fin du sondage	- 769		

Tableau 1: Sondage 108W359, aperçu hypsométrique des nappes aquifères, stratigraphie (base des unités indiquée) et des phénomènes karstiques (profondeurs en mètres par rapport au niveau de la mer)

eaux superficielles (Tableau 2). La température ambiante y est de 38°C, donc intéressant pour des applications géothermiques à basse enthalpie. Les intervalles fracturés intermédiaires ne présentaient pas de fissures perméables. L'intervalle supérieur est fortement karstifié, contenant des cavités à ouverture verticale de 1.5 m à 186 m et de 3.5 m à 194 m avec circulation d'eau dans un réseau karstique ouvert (indice de productivité 87 m³/h/bar, perméabilité de 40 darcy, largement suffisant pour approvisionner en eau potable toute la commune)-(Lie & Maes, 1990).

5. Réactivation du paléokarst

L'élargissement des fissures et la présence d'une argile limoneuse meuble, identique à celle rencontrée dans les grottes récentes, au fond des cavités autour de 193 m suggèrent un karst actif. La composition chimique de l'eau, le refroidissement des eaux et de la roche encaissante, ainsi que la piézométrie corroborent cette hypothèse.

La dureté de l'eau et sa charge en sels correspondent aux eaux bicarbonatées des karsts actuels. Elles ne ressemblent pas aux eaux minéralisées par une circulation lente et profonde qu'on pourrait attendre à cette profondeur. Dans la nappe captive des calcaires viséens, l'eau phréatique profonde, est donc alimentée rapidement dans un système karstique ouvert, sans contraintes importantes. Les conditions physico-chimiques préconisent un karst actif. La composition chimique des eaux issues de la cavité supérieure ressemble à la moyenne régionale des sources de la craie, indicatif d'une alimentation rapide sans interaction entre eau et calcaire. Les eaux issues de la zone karstique inférieure autour de la faille à 853 m ressemblent à la moyenne régionale des sources déminéralisées du Carbonifère (Athmer et al, 1991 ; Tableau 2).

La thermométrie est aussi inhabituelle et présente de fortes inversions, en comparaison avec le gradient géothermique normal. Ainsi, les températures mesurées au niveau des cavités restaient toujours autour de 11°C, température trop froide pour cette profondeur, ce qui indiquerait une circulation rapide d'eaux météoriques. De plus, la thermométrie mesurée six mois après l'exécution du forage atteignait à peine 14°C vers 650 m de profondeur. La partie inférieure était bloquée par l'argile, transportée dans le puits. Le puits ouvert a donc favorisé une circulation d'eau froide issue des cavités vers la zone karstique inférieure, entraînant également une partie de

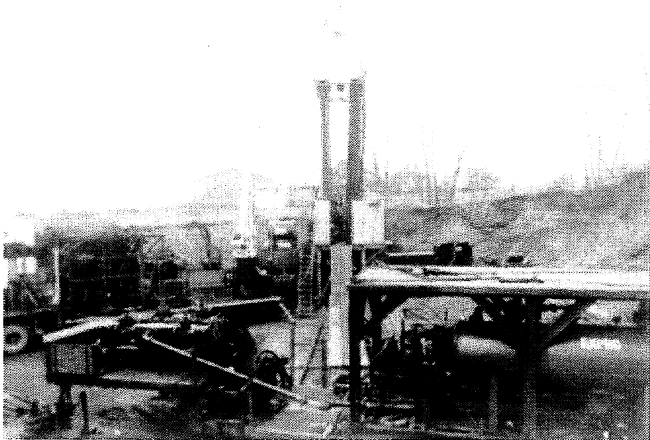


Photo 1 : la tour de forage entourée de l'unité de tubage ('coiled tubing') et le séparateur ('nitrogen air lift') lors des essais de pompage en 1987.

l'argile des grottes. L'eau froide plus dense des cavités (11°C) a déplacé l'eau chaude non-minéralisée de la faille (38°C). On peut espérer que depuis lors ce système de circulation accidentelle, induite par le forage, soit interrompu par le colmatage de la partie inférieure du trou.

Bien que le karst soit réactivé, une communication directe avec le réseau hydrographique superposé est pourtant à exclure vu la différence des niveaux piézométriques (+ 69 m pour les cavités contre + 80-85 m pour le ruisseau des Fourons; Tableau 1). Localement, l'aquifère karstique viséen est confiné par les argiles du paléosol, empêchant un approvisionnement direct par des eaux météoriques. Une communication souterraine avec la vallée de la Berwinne à hauteur de la percée du massif de Visé est possible vu le faible gradient hydraulique (72 x 69 m sur 3 km de distance horizontale, tableau 1).

6. Conclusion

La région est aussi connue pour ses sources thermales, liées aux champs de fractures karstifiées. A l'inverse, les eaux du puits de Fourn-le-Comte sont caractérisées par un temps de latence et une profondeur de circulation dans l'aquifère du Carbonifère très faible. L'origine et l'alimentation du conduit karstique découvert dans le sondage de recherche géologique et ses relations avec les réseaux des eaux thermales restent énigmatiques.

origine	conductivité	Na	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3
puits 190 m	565	15	115	5	23	33	335
puits 850 m	510	28	64	21	15	16	333
sources craie	576	9	125	3	16	29	334
sources carbonifère	437	9	63	19	4	13	298
source thermique	1435	193	103	23	296	42	401
carbonifère Maastricht	1780	258	92	28	375	58	454

Tableau 2 : Composition de l'eau produite dans le sondage de Fourn-le-Comte (Lie & Maes, 1990), comparée avec les sources dans la Craie et dans le Carbonifère du bassin versant du Fourn (Athmer et al., 1991), la source thermique dans le Carbonifère d'Elvenschans-Navagne à Moulain (Dusar, 1999) et le puits artésien dans le Carbonifère de Heugem-Maastricht (Bless et al., 1981)

7. Bibliographie

- Athmer, W.H.G.J.; Braas, G.J.; Hillemans, D.J.M.; Kieft, J.G.; Simmelink, H.J. & Vliegenthart, F.J.L., 1991. Hydrogeologisch onderzoek in het stroomgebied van de Voer bovenstrooms van 's Gravenvoeren. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica. 85 p. + ann.
- Batten, D.J.; Streel, M.; Duser, M. & Bless, M.J.M., 1987. Late Cretaceous palynomorphs from the boreholes Thermae 2002 (Valkenburg a/d Geul, The Netherlands) and 's Gravenvoeren (Belgium). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 110: 47-51.
- Bless, M.J.M.; Boonen, P.; Bouckaert, J.; Brauckmann, C.; Conil, R.; Duser, M.; Felder, P.J.; Felder, W.M.; Gökdag, H.; Kockel, F.; Laloux, M.; Langguth, H.R.; van der Meer Mohr, C.G.; Meessen, J.P.M.Th.; Op het Veld, F.; Paproth, E.; Pietzner, H.; Plum, J.; Poty, E.; Scherp, A.; Schulz, R.; Streel, M.; Thorez, J.; Van Rooijen, P.; Vanguestaine, M.; Vieslet, J.L.; Wiersma, D.J.; Winkler Prins, C.F. & Wolf, M., 1981. Preliminary report on Lower Tertiary - Upper Cretaceous and Danian - Famennian rocks in the boreholes Heugem-1/1a and Kastanjelaan-2 (Maastricht, the Netherlands). *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 35-15: 333-415.
- Drozdowski, G.; Hartkopf-Fröder, C.; Lange, F.-G.; Oesterreich, B.; Ribbert, K.-H.; Voigt, S. & Wrede, V., 1998. Vorläufige Mitteilung über unterkretazischen Tiefenkarst im Wülfrather Massenkalk (Rheinisches Schiefergebirge). *Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher*, 44: 54-64, München [<http://www.gd.nrw.de/wuelfrath.htm>].
- Dupuis, C.; Charlet, J.-M.; Dejonghe, L. & Thorez, J., 1997. Reconnaissance par carottage des paléoolérations kaolinisées mésozoïques de la Haute Ardenne (Belgique). Le sondage de Transinne (194E-495): premiers résultats. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 119-2: 91-109.
- Duser, M., 1999. The thermal spring of Elvenschans-Navagne in Moelingen (Voeren-Fourons) and its geological origin. New insights as a result of geological reconnaissance for a gas pipeline. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 105: 250.
- Lie Sun Fan & Maes, E., 1990. Well 's Gravenvoeren 108W359 (KB192). Technical Report. Service géologique de Belgique, 99 p.
- Poty, E., 1982. Paléokarsts et brèches d'effondrement dans le frasien moyen des environs de Visé. Leur influence dans la paléogéographie danienne. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 105: 315-337.

Hypsométrie des grottes de versant dans les vallées de l'Ourthe et de la Lesse

Jean GODISSART

Centre de Prospection Liégeois
Rue de Cracovie, 19 - 4030 Grivegnée

Résumé :

De nombreux chercheurs se sont déjà penchés sur les relations génétiques entre niveaux de grottes et terrasses fluviales. Nous proposons ici une nouvelle approche, basée sur des relations statistiques d'altitudes. Les mesures des altitudes relatives des entrées de grottes montrent leur distribution en quatre familles correspondant aux altitudes de quatre terrasses. Comme les périodes d'encaissement et de stabilité des rivières sont notamment influencées par la tectonique et les variations du climat, nos diagrammes constituent aussi une contribution à la connaissance des oscillations climatiques quaternaires.

Abstract :

Several researchers, as C.Ek in Belgium and A.N.Palmer in USA, have already studied the genetic relationship between caves levels and alluvial terraces. In the present paper I would propose a rather different approach of the phenomena pointing out their global, statistical features. After a measure campaign along the slopes of the Lesse and Ourthe rivers, the data (i.e. the relative heights of entries above base level) have been computed and plotted on diagrams showing various cave families in relationship with four alluvial terraces. This evidence is discussed on a genetic point of view, taking in account that in both areas, karstified Devonian and Carboniferous limestones are strongly folded and faulted, and that each river during its vertical entrenchment has had various periods of stability according to climate changes. In conclusion, those diagrams could also be interpreted as climate records during the Quaternary era.

Mots clefs

Grottes - Hypsométrie - Terrasses - Ourthe - Lesse.

Keywords

Caves - Hypsometry - Terraces - Ourthe - Lesse.

Plusieurs chercheurs dont C.Ek en Belgique et A. Palmer aux Etats-Unis pour ne citer que ceux-là ont abordé le sujet des relations entre les niveaux de terrasses fluviales et les grottes de versant, en particulier les grottes polycycliques.

Au cours du présent travail, une approche quelque peu différente est proposée.

Dans le réseau hydrographique de la Belgique nous avons délimité deux secteurs, à savoir la région aval de l'Ourthe entre Tilff et Durbuy, et la Lesse dans sa traversée du méandre encaissé de Chaleux non loin de son confluent avec la Meuse (fig. 1).

Ces deux secteurs sont à la fois riches en phénomènes karstiques et suffisamment proches de leur niveau de base pour qu'en première approximation les traces des niveaux de terrasses convergentes vers l'amont puissent être considérées comme étant parallèles (fig. 2).

Dans ces deux unités appartenant au Bassin de Dinant et en particulier le long de l'Ourthe, les dépôts carbonatés du Dévonien et du Carbonifère fortement plissés, faillés et orientés Est-Ouest constituent un karst barré recoupé par l'érosion verticale des rivières, de telle sorte qu'une quelconque zonalité dans les phénomènes observés ne pourrait être imputée ni à la lithologie ni à la structure.

Enfin, toutes les entrées de grottes répertoriées ne sont pas nécessairement des anciens exutoires, certaines d'entre elles ont fonctionné en capture alimentant des recoupements souterrains de méandres, elles furent également prises en compte.

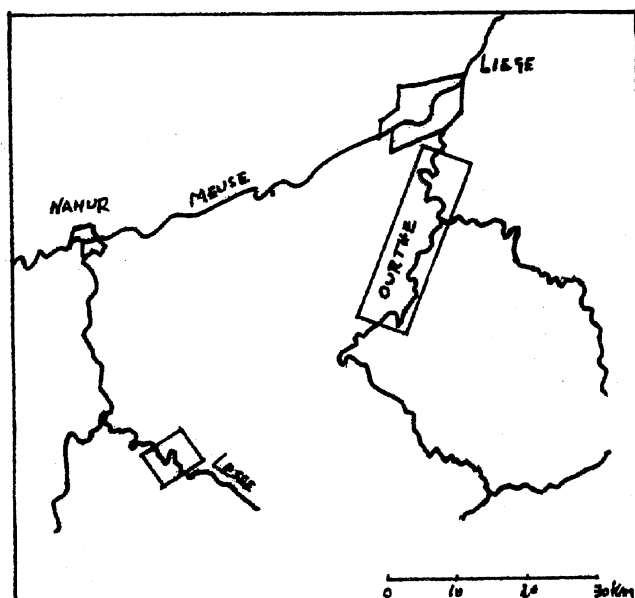


Figure 1 : situation des deux secteurs étudiés.

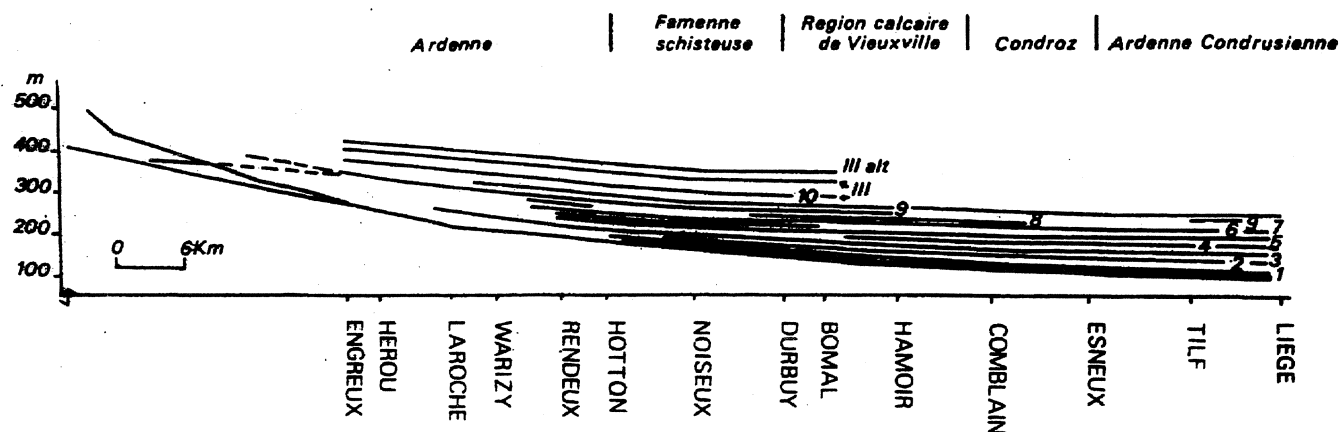


Figure 2 : profil en long des terrasses de l'Ourthe (d'après J. Alexandre et Al).

Sur les diagrammes (fig. 3 et 4), les altitudes relatives des entrées de grotte au-dessus des rivières sont portées en abscisse et en regard nous avons indiqué les altitudes des terrasses selon C. Ek (1957) pour l'Ourthe et selon G. Seret (1957) pour la Lesse.

Les points noirs représentent les orifices, certains d'entre eux sont réunis par un trait horizontal indiquant par là que deux galeries d'entrées à des niveaux différents sont raccordées à la galerie principale de la même manière qu'un delta, comme si le drainage de l'aquifère s'était effectué en s'adaptant à des niveaux de base successifs et assez rapprochés.

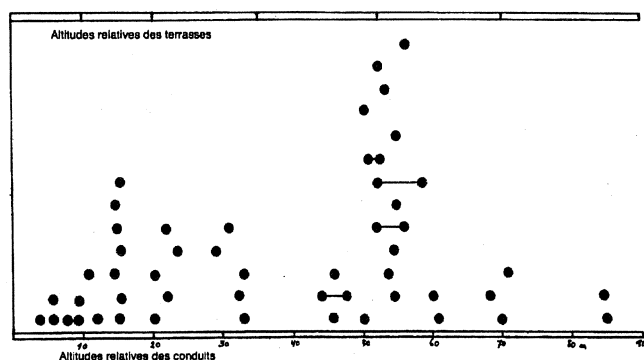


Figure 3 : Hypsométrie de l'Ourthe.

La grotte Steinlein à Comblain-au-Pont constitue un bel exemple de ce type d'appareil karstique.

Malgré une certaine confusion dans les niveaux inférieurs entre 0 et 10 mètres, on ne peut cependant s'empêcher de distinguer plusieurs classes de cavernes disposées de façon assez homogène en particulier le long de l'Ourthe à 15, 22, 33, 55, 70 et 85 mètres au-dessus du cours actuel et le long de la Lesse à 22 et 55 mètres.

A l'heure actuelle, 21 niveaux de terrasses ont été répertoriés dans la vallée de l'Ourthe (Y. Cornet, 1987) et seulement six niveaux de karstification pourraient leur être corrélés.

Au cours de l'encaissement apparemment saccadé des rivières pendant le Quaternaire, sans doute sous les effets conjugués du climat et de la tectonique, il est probable que certaines périodes de stabilité du réseau

épigé furent favorables au développement du karst, agissant ainsi comme un indicateur climatique.

Malheureusement, nous ne possédons pas encore d'échelle chronologique de ces phénomènes bien que, a priori, ces données pourraient être extraites des dépôts de calcite présents dans les différents niveaux.

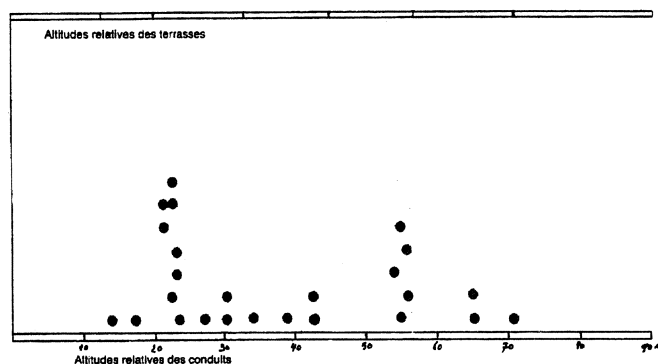


Figure 4 : Hypsométrie de la Lesse

Bibliographie

- Cornet Y., 1987. Les terrasses de l'Ourthe inférieure. Raccords avec celles de la Meuse. Mémoire de license en sc. géogr., Université de Liège : 191 p.
- Davies W.E., 1960. Origin of caves in folded limestones : Nat. Speleol. Soc. Bull. : 42-48.
- Ek C., 1957. Les terrasses de l'Ourthe et de l'Amblève inférieures : Ann. Soc. Géol. de Belgique, 80 : 333-353.
- Ek C., 1961. Conduits souterrains en relation avec les terrasses fluviales : Ann. Soc. Géol. de Belgique, 84 : 313-340
- Ewers R.O., 1982. Cavern development in the dimension of length and breadth : Ph.D. thesis, Mc Master Univ. : 398 p.
- Palmer A.N., 1987. Caves levels and their interpretation : The NSS Bulletin, 49 : 50-66.
- Renault Ph., 1967. Le problème de la spéléogénèse : Annales de Spéléol., 22 : 5-21 et 179-216.
- Seret G., Les terrasses et les formes associées dans le bassin de la Lesse Inférieure : Ann. Soc. Géol. de Belgique, 80 : 355-378.

Les travaux spéléologiques belges au Mexique

Richard GREBEUDE

Meez 3, 5500 Bouvignes

richardgrebeude@wanadoo.be

Résumé

Fin de la synthèse des 20 ans d'expéditions du GSAB (Groupe Spéléo Alpin Belge) au Mexique (Journée 1999 de Spéléologie Scientifique), quelques renseignements d'ordre archéologique concernant les cavités de la zone d'exploration et exposé succinct des découvertes réalisées lors de l'expédition de février-mars 2000.

Abstract

End of synthesis of 20 years of GSAB (Groupe Spéléo Alpin Belge) expeditions in Mexico (Journée 1999 de Spéléologie Scientifique). Presentation of some archeological discoveries about the caves in the exploration area and short summary of discoveries made during the February and March 2000 expedition.

Mots clefs

Mexique - Sierra Madre - Exploration spéléologique - GSAB.

Keywords

Mexico - Sierra Madre caves - Exploration - GSAB.

1. Introduction

En un quart d'heure, lors de la Journée de Spéléologie Scientifique de novembre 99, nous avons tenté de résumer vingt années d'explorations spéléologiques belges au Mexique. Nous en retirons le souvenir d'un exposé à la fois sommaire et confus.

Sommaire, car non seulement nombre de sujets ne purent être abordés, mais les quinze minutes imparties ont à peine permis d'effleurer les aspects spéléologiques, karstologiques et géologiques d'une énorme zone d'exploration qui s'étage entre 200 et 3.200 m d'altitude pour une surface totale de près de 400Km², et qui contient toute une série de profondes, grandes, et longues cavités, méritant bien plus d'explications que quelques considérations à la sauvette (photo 1).

Confus, car toutes élémentaires que furent les quelques informations apportées en quinze minutes, elles n'en constituèrent pas moins une masse confuse, comme la simple mais fastidieuse énumération chronologique des principales découvertes réalisées.

L'exposé de cette année est scindé en trois parties. La première se contente d'évoquer divers sujets non abordés en 99 (p. 86), la seconde résumera les différentes utilisations faites à l'époque précolombienne (et parfois toujours actuellement) de cavités que nous avons explorées. Enfin, dans la dernière partie, nous aborderons sommairement l'énoncé des découvertes réalisées en 2000 et les perspectives qu'elles dégagent.

2. Considérations diverses quant aux vingt ans d'expéditions au Mexique

Limité par le temps en 99 nous n'avions donc pu décrire que divers éléments généraux : quelques mots du GSAB, ses acteurs et ses méthodes; une brève situation de la zone d'exploration dans le pays ainsi qu'une courte description de celle-ci (altitudes, climat, superficie, habitat, couverture végétale suivant le secteur);

quelques mots des roches en présence; quelques phrases décrivant les systèmes hydrogéologiques et leur ampleur et, enfin, une énumération chronologique des grandes cavités explorées avec profondeur et développement... Nous en étions déjà à vingt minutes d'exposé sans donner aucun détail! Plus le temps dès lors de parler de l'esprit qui anime ces activités, du fonctionnement, de l'organisation, de l'intendance ou des soins médicaux dans les conditions de promiscuité et d'inconfort des camps d'expés, et de tous les enseignements utiles que nous avons pu retirer dans ces domaines, pas le temps de décrire les principales cavités et leurs caractéristiques, de parler des espoirs et objectifs futurs...

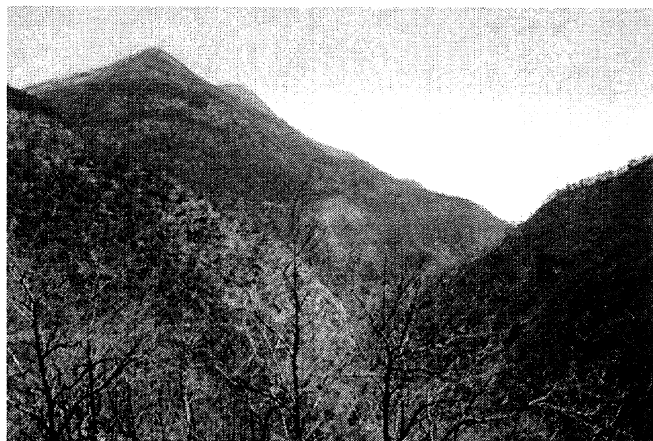


Photo 1 : Vue de la partie supérieure de la zone d'exploration avec le point culminant du massif, le Cerro Tzontzeuculi, à 3.200 m.

C'est pourquoi, et toujours sans avoir le temps de s'étendre sur les détails, nous voulons compléter ici les informations succinctes de 1999 par quelques éléments.

Vingt ans d'expés lointaines furent, on peut s'en douter, la source intarissable d'une multitude d'enseignements et découvertes dans nombre de domaines,

quelquefois fort éloignés l'un de l'autre comme peuvent l'être par exemple la psychologie et l'éthologie humaine de la spéléologie et du Karst.

Il y a d'abord évidemment ce pourquoi nous sommes venus là : l'exploration spéléologique pure et la découverte progressive de vastes et fabuleux systèmes hydrogéologiques insoupçonnés jusqu'alors. Nous en avons dit l'essentiel dans l'exposé de 1999.

Il y a ensuite tout ce que ces explorations ont permis d'observer sur le terrain en matière de stratification et plissements, de tectonique, de morphologie karstique, de sédimentologie, de cristallographie, d'archéologie, de biospéléologie, etc. Nous n'en avons encore rien dit. Nous nous pencherons aujourd'hui sur le volet archéologique, les ramifications du sujet (explorations spéléologiques belges au Mexique) étant trop vastes que pour pouvoir détailler plus d'un ou deux points en un exposé.

Il y a aussi la foule d'enseignements et découvertes réalisées en marge des explorations proprement dite, dont bien sûr la découverte d'un pays, d'une région, d'une faune, d'une flore, d'un climat, d'un mode de vie, d'une philosophie et d'une culture différentes, mais tout cela nous écarte d'un sujet déjà si vaste et n'est que banal pour qui voyage loin en sortant des sentiers battus.

Ce qui nous intéresse plus directement, ce sont bien sûr les nombreux enseignements et expériences spécifiques au karst, à des expéditions et aux techniques spéléologiques qu'ont apporté ces vingt années; vingt ans qui ont permis de peaufiner le déroulement et le

bon fonctionnement de ces expéditions, faisant d'elles une machinerie parfaitement huilée, une expérience irremplaçable qu'il fut et qu'il est encore utile de faire connaître à tous. Tout ceci est exprimé sans prétention, mais il ne faut pas perdre de vue que ces expéditions ont concerné près de 70 des meilleurs spéléologues belges de ces trente dernières années, les enseignements recueillis en matière de techniques spéléologiques, de stratégie et d'organisation d'expédition sont donc forcément très conséquents.

En matière de techniques par exemple, nos expéditions dans leur recherche constante d'efficacité et d'optimisation du matériel dans le souci d'en avoir le moins possible pour être léger et mobile, furent le creuset idéal où pendant 20 ans nous avons pu façonner et expérimenter de nouvelles techniques de camp, d'intendance, de progression et d'équipement en spéléologie. Ce fut un banc-test de terrain où l'on a mis à l'épreuve les nouveaux matériels et matériaux qui sont progressivement apparus sur le marché, où l'on a planché sur de nouveaux noeuds, de nouvelles modifications et améliorations du matériel classique etc.

Une partie de ces apports techniques à la spéléologie a été mise sur le marché par les fabricants qui ont apporté les petites améliorations demandées de différentes pièces de matériel, profitant aujourd'hui à tous. Une autre partie de ces apports, en matière de logistique et d'organisation d'expédition, ou en matière de philosophie de progression et d'équipement sous terre a largement profité aux nombreux spéléos invités aux



Photo 2 : En 1998, un grand incendie a ravagé une partie de la Sierra dans sa zone supérieure. Ici une photo prise en février 1999, vers 2.700 m.

expés Mexique qui les ont ensuite largement répandus dans leurs clubs, élevant ainsi le niveau général de la spéléologie belge.

Si le trop long développement de tous ces aspects ne peut se faire ici et ne pourrait être envisagé que devant un auditoire spécifique, il était toutefois utile d'en parler pour préciser que l'apport de ces activités consiste en bien plus que la simple découverte et exploration de cavités lointaines!

3. L'utilisation des cavités de la sierra à l'époque précolombienne.

Fréquemment (mais pas systématiquement) nous avons rencontré lors de nos explorations des traces de passage, d'occupation ou d'utilisation antérieures de cavités par l'homme.

Nous ignorons toujours actuellement l'ancienneté exacte de ces sites archéologiques. Une ignorance due à trois facteurs principaux: le fait que nous n'ayons jamais consacré de temps à cet aspect de nos explorations, l'absence d'outillage, d'armement, et d'objets d'art mobilier, et l'absence de toute décoration sur la multitude de tessons retrouvés. N'ayant jamais tenté de reconstituer les récipients au départ des tessons, nous n'avons pas d'idée précise de leurs formes et ne pouvons dès lors déterminer un horizon particulier à ceux-ci.

Toutefois en raison de sa position géographique, et quoique cette région fut à une certaine époque sous domination et influence Toltèque et plus précisément Mexica, il y a gros à parier que les sites découverts sont à rattacher à la culture Olmèque qui s'est largement épanouie dans le golfe du Mexique, et dont l'influence s'est répandue bien au-delà. Enfin, quant on voit la fertilité des terres du golfe, la facilité d'accès et de communications dans cette région en raison de l'absence de reliefs importants, on comprend mieux le peu d'intérêt qu'il a dû présenter la sierra à cette époque. Cette évidente absence d'intérêt associée aux probables pillages réalisés autrefois par les populations locales peut expliquer le peu de matériel retrouvé, et la pauvreté de facture de celui-ci, amenant à la conclusion que, sur notre zone d'exploration en tout cas, les occupants précolombiens de la sierra étaient pauvres et relativement peu nombreux.

Entre son peuplement à l'époque précolombienne et son occupation actuelle, le secteur de la sierra où nous effectuons nos recherches spéléologiques semble avoir connu une période d'abandon total qui aurait pu être de plusieurs siècles. En effet, en dehors de la grosse localité de Zoquitlan qui existe depuis près de quatre siècles, la plupart des villages et hameaux actuels n'ont, aux dires des locaux, été fondés qu'au début du siècle, aucun bâtiment en dur n'est antérieur à 1920.

Actuellement nous pouvons distinguer trois types d'utilisation des cavités.

3.1. Points d'eau

Comme dans la plupart des massifs karstiques, les écoulements de surface sont pratiquement inexistants



Photo 3 : Vue d'une partie de la zone médiane du massif prise d'une altitude de 1.600 m vers le secteur 700 m / 1.200 m.

dans la sierra. La municipalité des villages situés sur notre zone d'exploration vient à peine de réaliser ces dernières années un raccordement public en eau. Celui-ci consiste simplement en un gros tuyau en polyéthylène posé au sol et rarement enterré, véhiculant de l'eau potable à travers la sierra. A charge pour chaque secteur habité de se raccorder via un tuyau socarex de plus faible section posé au sol ou fixé dans les arbustes. Nous n'en sommes pas encore au stade des robinets individuels dans les habitations, le tuyau est coupé en de multiples endroits et réemboîté avec une jonction faite d'un morceau de bambou taillé. Lorsque l'on a besoin d'eau, on se déplace jusqu'au tuyau passant près de chez soi, on déboîte la jonction pour remplir ses seaux et bidons (coupant momentanément l'alimentation en aval !), puis on réemboîte le tout.

Avant cette époque récente, les gens les mieux situés procédaient de même en plaçant le début de leur tuyau le plus haut possible en altitude dans des entrées de grottes contenant des vasques alimentées, l'eau circulant alors dans le tuyau par simple gravitation. Les moins bien situés devaient se contenter de rares vasques boueuses alimentées de faibles percolations interrompues en saison sèche, ou de suintements et goutte-à-goutte dans les porches d'entrée de différentes grottes. En dehors de quelques secteurs très retirés, ce type d'approvisionnement en eau est actuellement en passe de disparaître.

Nous avons donc retrouvé fréquemment dans les entrées de grottes faciles d'accès et proches des habitations, les traces de décennies de maladresses sous forme de tessons de poterie, quelquefois en quantité importante. Mêlés à la poterie moderne et récente on trouve systématiquement des tessons de poterie manifestement plus anciens, toujours de facture assez grossière, indiquant d'une part la pérennité d'usage de ces lieux comme points d'eau, et d'autre part la rareté de ceux-ci, l'interruption de peuplement ayant amené les populations contemporaines à les "redécouvrir".

Fort heureusement pour les éventuelles recherches futures qui pourraient être menées par les services archéologiques mexicains, on retrouve également de nombreux tessons dans des entrées de grottes très retirées de toute habitation, tessons exclusivement pré-

colombiens cette fois, ce qui est nettement plus intéressant d'un point de vue archéologique, la poterie pay-sanne artisanale actuelle étant parfois de facture très proche de l'ancienne. Dans les cavités proches des lieux actuellement habités il n'était pas évident de faire la part des choses entre tessons contemporains et tessons plus anciens.

En plus des débris de poteries, les points d'eaux sous terre sont quelquefois aménagés pour faciliter la collecte du précieux liquide. Sous les percolations et suintements principaux, on trouve des vasques faites de pierres plates assemblées et "cimentées" à l'argile, permettant de faire le plein sans attendre le bon vouloir des goutte-à-goutte.

Enfin, nous avons pu constater qu'en dépit de leur peur atavique du monde souterrain (refuge d'Oztotl dieu des eaux, des cavernes et de l'infra-monde dans le panthéon aztèque), la rareté en eau à certaines périodes a poussé les anciens occupants de la sierra à pénétrer sous terre au-delà de la zone éclairée par la lumière du jour. Nous avons par exemple découvert deux grosses poteries intactes posées dans une niche en plein milieu d'un puits de plus de 20 mètres, lui-même précédé d'un premier puits de 20 mètres faisant suite à une salle d'entrée. Ces deux poteries sont bien sûr toujours en place.

3.2. Habitations-refuges fortifiés

Dans trois cavités, nous avons retrouvé des reliefs d'habitations-refuges fortifiés, indiquant un environnement conflictuel à certaines époques. Il s'agit de murets de pierres sèches montés à cru, avec des moellons qui sont grosso-modo de même calibre mais non dressés, barrant l'accès à des salles d'entrée aménagées (terrassements des sols créant des espaces plats). Le plus spectaculaire est le site de l'émergence de Coyolatl. Le vaste porche d'entrée d'une centaine de mètres de hauteur de cette cavité est double. A la base sort la puissante rivière, une cinquantaine de mètres plus haut dans le porche se trouve un énorme accès fossile défendu d'importants murets suivis de véritables esplanades ayant pu loger tout un village. En dehors d'une grosse couche de guano grouillant, le sol est jonché de débris de poteries et de monceaux de noyaux de fruits. Sur la paroi, on peut distinguer des traces de mouchage de torches. Une fouille sérieuse entreprise ici par des professionnels nationaux pourrait certainement nous en apprendre bien davantage sur le peuplement précolombien de la sierra.

3.3. Lieux de culte

Comme dans nombre de civilisations anciennes, le monde précolombien vouait un culte à l'eau. Celui-ci devait être d'autant plus intense dans la sierra que, nous l'avons vu, la région est pauvre en liquide (non alcoolisé du moins). Rien d'étonnant dès lors à ce que l'on y aie retrouvé des manifestations de ce culte. La plus extraordinaire d'entre elles étant le site de pierres levées de l'émergence semi-active de Topitzatl, et quand l'on voit la situation "magique" et inaccessible de celui-

ci, on comprend aisément que ce lieu fut l'objet d'une dévotion de la part des populations précolombiennes.

Entre les deux sommets de la région, le Tzitzintepetl et le Tzontzecuculi qui culminent, respectivement, à près de 3000 et à un peu plus de 3000m, une profonde vallée coupe la sierra en deux. Dans sa partie aval, à hauteur de la résurgence de pertes situées en amont et de Topitzatl, la résurgence pérenne majeure des eaux de l'émergence vaclusienne temporaire d'Atlixicaya située 200 mètres plus haut, le fond de la vallée se transforme en un profond canyon dont les eaux viennent nourrir le rio Coyolapa issu de l'émergence de Coyolatl. Ce canyon se forme brutalement à hauteur des premières résurgences, et débute par une verticale d'une vingtaine de mètres rendant l'aval inaccessible à un simple piéton. Immédiatement après, de hautes parois rocheuses interdisent tout accès direct au rio qui circule au fond du canyon. 90% des eaux de ce rio proviennent de l'émergence pérenne de Topitzatl (eaux d'Atlixicaya) située à la base de la verticale, à hauteur d'un petit élargissement du canyon uniquement accessible à la nage depuis l'aval, après être remonté pendant quelques centaines de mètres le cours du rio. L'endroit est donc difficile d'accès, très retiré et très sauvage, il n'est pas fréquenté par les locaux actuels et constitue un véritable petit paradis de calme et de nature à la végétation luxuriante.

Une trentaine de mètres au-dessus de l'émergence pérenne qui émet un cours d'eau au courant puissant et qui est impénétrable sans plonger, se trouve un vaste porche de grotte qui est en fait un niveau semi-fossile de Topitzatl. Cette cavité est légèrement émissive en crue de saison des pluies. Nous avons pu l'explorer sur environ un kilomètre jusqu'à un siphon. Dans le couloir d'entrée au sol parfaitement plat et tapissé de sable fin, on rencontre trois pierres successives de plus en plus grandes, posées au sol au milieu du couloir. Elles conduisent, à la limite de la lumière du jour qui pénètre largement par le vaste orifice, à un ensemble d'une demi-douzaine de pierres levées de un à deux mètres de haut pour un poids de l'ordre d'une centaine à environ trois cents kilos, disposées en léger arc de cercle. Au pied de cet ensemble, nous avons retrouvé un vase tripode peint que nous avons laissé en place, et qui par sa facture de qualité et son modèle aurait pu nous permettre de dater le site. Cette disposition mégalithique a été rencontrée par des spéléologues mexicains dans d'autres cavités de la région, elle constitue sans nul doute une sorte de temple voué au dieu des eaux. On trouve évident que cet endroit fut sacralisé, dans cette région ne disposant pas d'eau de surface, nous avons toute une rivière au débit puissant qui sort de la montagne au pied de parois formant un cirque fermé dans un cadre retiré et sauvage, invitant au mysticisme.

3.4. Sépultures

Ce dernier élément relief de civilisations antérieures manque. Nous n'avons jamais retrouvé la moindre sépulture précolombienne dans la sierra. Le seul squelette ancien découvert se trouvait dans une position et

à un endroit qui suggère de toute évidence l'accident ou l'assassinat, à la base d'une petite verticale s'ouvrant dans une salle d'entrée. Un traumatisme crânien évident nous montre que la victime du être gravement blessée si pas tuée sur le coup lors de sa chute, ou lorsqu'elle fut précipitée là. Enfin l'absence de tout mobilier funéraire était notre hypothèse.

4. L'expédition 2000.

L'expédition a eu lieu en février et mars 2000, sur une durée totale de cinq semaines, soit quatre semaines effectives sur le terrain (photo 4). L'objectif était la prospection et l'exploration d'un secteur accidenté, truffé de dépressions boisées à une altitude de 1.200 à 1.550 mètres et situé à l'aplomb des amonts connus de l'émergence de Coyolatl. L'espoir était, bien entendu, de découvrir une première jonction gouffre du plateau-émergence, facilitant ainsi la poursuite des explorations dans l'amont de Coyolatl.

Seize personnes ont participé à cette expédition qui s'est déroulée en deux phases avec 13 participants pour la première quinzaine, suivie de six départs et de trois arrivées recomposant une équipe de 10 pour la seconde quinzaine. A notre invitation, quatre spéléologues mexicains de l'UNAM vinrent durant une semaine renforcer cette seconde équipe.

La première partie de l'expédition porta sur quatre plans : exploration à proximité du camp d'une cavité prometteuse découverte et explorée jusqu'à -100 l'année précédente, prospection aux environs dans un rayon

maximal d'une heure, établissement d'un petit camp annexe à 2 km du camp principal pour prospector plus aisément les secteurs situés au-delà et travail au percuteur sur le TB1, découvert en 1990, afin d'élargir une étroiture fortement ventilée à la tête d'un P30 non loin de l'entrée.

Le gouffre proche du camp, le Sumidero de Tepecuitlapa livra un kilomètre neuf cents de galeries conduisant à -485m. Une zone de puits sur près de 300m suivie d'une superbe galerie de plus d'un km, parcourue par une sympathique rivière souterraine qui après 500m de parcours à pente faible commence à plonger en cascades et bassins, en ressauts et marmites jusqu'à une salle d'effondrement. Une cinquantaine de mètres au-delà, la progression est stoppée à l'entrée d'une seconde salle dont les blocs effondrés en nombre dans le lit de la rivière interdisent toute progression humaine. L'eau et le courant d'air poursuivent leur course...

Les prospections aux alentours du camp principal livrèrent une série de cavités à tendance verticale, aucune n'excédant les cent vingt mètres de profondeur.

Les recherches aux environs du petit camp annexe permirent de découvrir diverses cavités également à tendance verticale, mais comportant diverses sections horizontales de grandes dimensions, la plus importante, le TZ14, n'excède pas 270 m de profondeur pour 650 m de développement.

Enfin la roche très dure de l'étroiture du TB1 (Sumidero Roberto) résista longtemps au percuteur malgré l'acharnement et la détermination de son manipulateur principal, en dépit de nombreuses séances ce n'est qu'à la fin de la première partie d'expé que

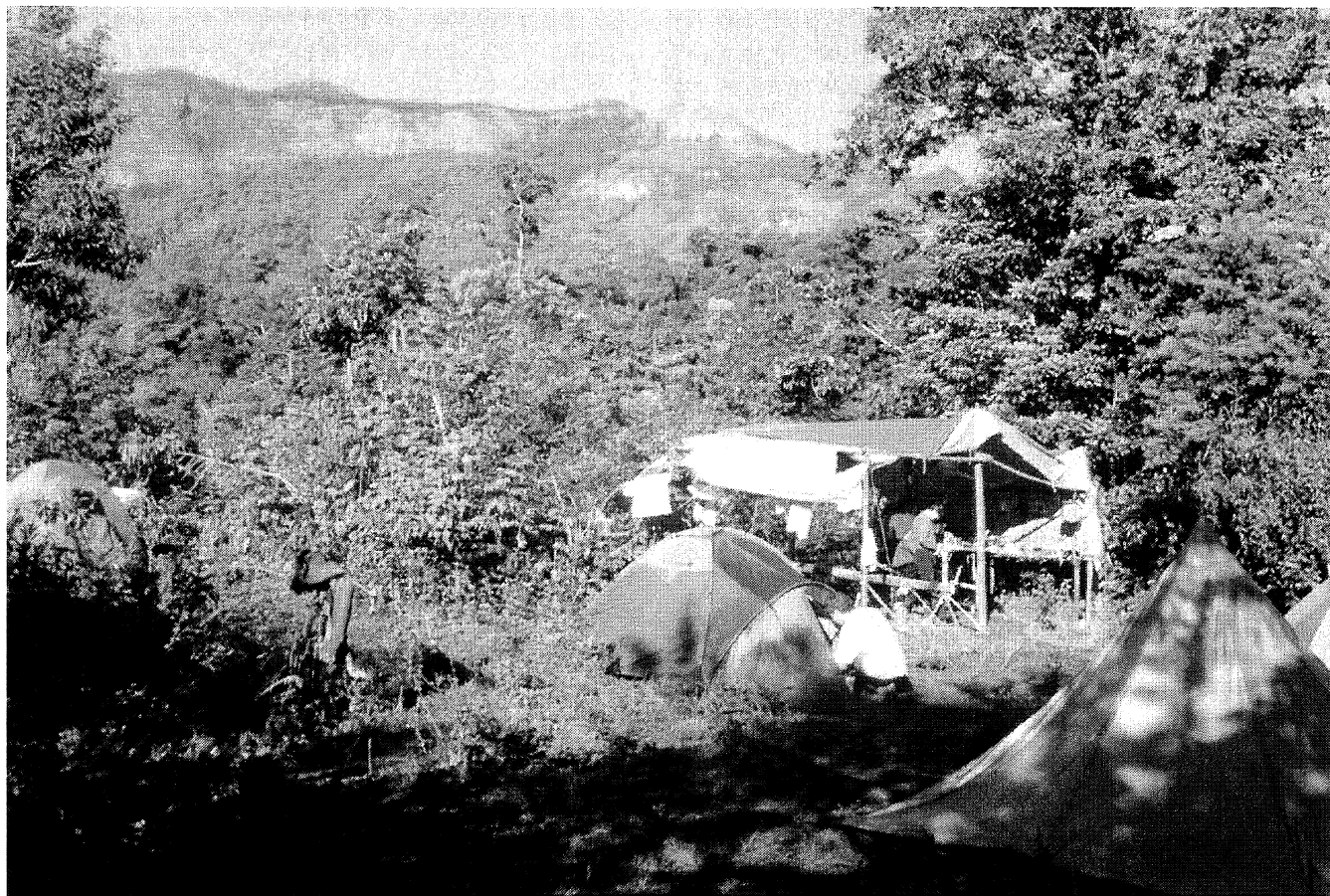


Photo 4 : Le camp de base de l'expédition 2000, installé à 1550 m.

l'obstacle pu enfin être franchit . Cette cavité constituait l'exploration principale de la seconde partie de l'expé qui y atteignit -400 m pour 830 m de développement. En dehors de cela, ce second volet d'expé fut également consacré aux prospections-explorations autour du camp, en rayonnant de plus en plus loin au fil des jours. Les découvertes furent semblables à celles réalisées au début, des cavités à tendance verticale ne dépassant pas une centaine de mètres de profondeur. Toutefois deux gouffres plus importants explorés sur la fin et non terminés constituent deux intéressants objectifs futurs.

5. Perspectives

Il n'y aura pas d'expédition en 2001 mais une nouvelle, où nous serons au moins une quinzaine sans compter nos amis mexicains, est d'ores et déjà programmée pour février-mars 2002.

Les objectifs précis de cette nouvelle aventure ne sont pas encore établis à ce jour, il y a en gros trois possibilités principales:

- poursuite des travaux sur l'une ou l'autre des deux grosses émergences.

- prospection-exploration d'une haute vallée sèche perchée au-dessus du massif contenant l'émergence d'Atlixicaya, mais dont les cavités ne sont pas nécessairement tributaires de celle-ci, la vallée sèche se jetant dans l'énorme vallée ravin dont les cavités alimentent Coyolatl.

- poursuite des explorations et prospections du secteur au-dessus des amonts de Coyolatl dans des zones non encore travaillées.

Si l'expédition compte un grand nombre de participants, il est probable que nous établirons deux camps distincts permettant de travailler simultanément sur deux des trois objectifs susmentionnés.

Les squelettes préhistoriques de l'abri des Autours à Anseremme, Dinant.

Caroline POLET¹ & Nicolas CAUWE²

¹ Institut royal des Sciences naturelles de Belgique
rue Vautier 29, - 1000 Bruxelles

² Musées Royaux d'Art et d'Histoire
Parc du Cinquantenaire, 10 - 1000 Bruxelles

Résumé

Description des différentes sépultures préhistoriques étudiées dans l'Abri des Autours. Une étude anthropologique des ossements retrouvés, montre la complexité des modes d'inhumation durant les différentes époques.

Abstract

The study of the prehistorical burials discovered in the Abri des Autours, near Anseremme (Dinant municipality) demonstrates the complexity of the anthropological burial methods during different times.

Mots clefs

Dinant - Sépulture - Préhistoire.

Keywords

Dinant - Burial - Prehistory.

1. Introduction

L'abri des Autours est situé au sommet du «rocher du Pape», dans la vallée de la Meuse, à quelques kilomètres en amont d'Anseremme (commune de Dinant, province de Namur). Exploré en 1992-93 par les Musées royaux d'Art et d'histoire (MRAH), il s'est révélé être un site d'importance majeure pour l'étude des rites funéraires de la préhistoire. Il amène une donnée entièrement nouvelle, à savoir une étendue chronologique du phénomène sépulcral en grotte peu pressentie jusqu'ici. Ce site a en effet livré trois sépultures préhistoriques d'époques différentes et stratigraphiquement bien séparées (fig. 1).

Deux de ces sépultures sont collectives¹. Sur base des objets accompagnant les défunts (mobiliers funéraires), elles ont été attribuées l'une à la civilisation Michelsberg (Néolithique moyen) et l'autre au Mésolithique ancien. Les analyses radiométriques confirment ces attributions : elles donnent respectivement 5.300 ± 55 B.P. et 9.090 ± 140 B.P. (Cauwe, 1995). La troisième sépulture est individuelle. Aucun mobilier funéraire ne l'accompagnait mais la partie inférieure du squelette était recouverte d'ocre. Cet individu a vécu dans la première moitié du 9^{ème} millénaire (9500 ± 75 B.P.; Cauwe, 1995).

En Belgique les ossements humains du Mésolithique sont rares (Jadin et Carpentier, 1994), ce site nous offre donc l'opportunité d'approfondir nos connaissances sur l'anthropologie de ces derniers chasseurs-cueilleurs.

¹ En archéologie funéraire, on distingue les tombes «multiples» dans lesquelles tous les défunts ont été inhumés simultanément (comme par exemple suite à une épidémie ou un génocide) des tombes «collectives» dans lesquelles les corps ont été apportés successivement.

2. La sépulture collective néolithique

La sépulture néolithique contenait les restes de trois adultes et de six enfants. Ils étaient concentrés sur une aire assez restreinte d'environ un mètre carré (fig. 1-AA1). À l'exception d'un membre inférieur en connexion, le désordre anatomique de la sépulture était intense.

En ce qui concerne les juvéniles, deux sont décédés entre 1,5 et 4 ans, deux entre 6 et 11 ans et deux seraient des adolescents. L'immatrice âgée de 9 ± 2 ans serait une fillette.

Plus de la moitié des os adultes semblent appartenir à l'un des trois sujets. Sur base de l'étude morphologique et métrique du bassin, celui-ci est très probablement de sexe féminin. Il serait décédé avant 23 ans car sa crête iliaque n'est pas encore totalement fusionnée à l'aile. A partir de la longueur des os du membre inférieur, nous pouvons estimer que cette jeune femme mesurait 1m44. Le deuxième individu est plus robuste et pourrait être de sexe masculin. Le troisième serait plus âgé (plus de 50 ans).

Les différentes catégories osseuses ne sont pas représentées dans des proportions qui reflètent la composition anatomique. On observe une sous-représentation de certaines catégories qui se marque surtout au niveau crânien : pour un nombre total de 9 individus, seul un maxillaire juvénile a été retrouvé. La taphonomie (modifications d'un cadavre après la mort) permet d'expliquer les carences en os fragiles mais seules des manipulations anthropiques pourraient être à l'origine de la sous-représentation des crânes qui sont des os solides. La rareté des crânes a également été observée dans de nombreuses autres sépultures collectives du bassin mosan (entre autres par Blero, 1997; Masset et Rozoy, 1997).

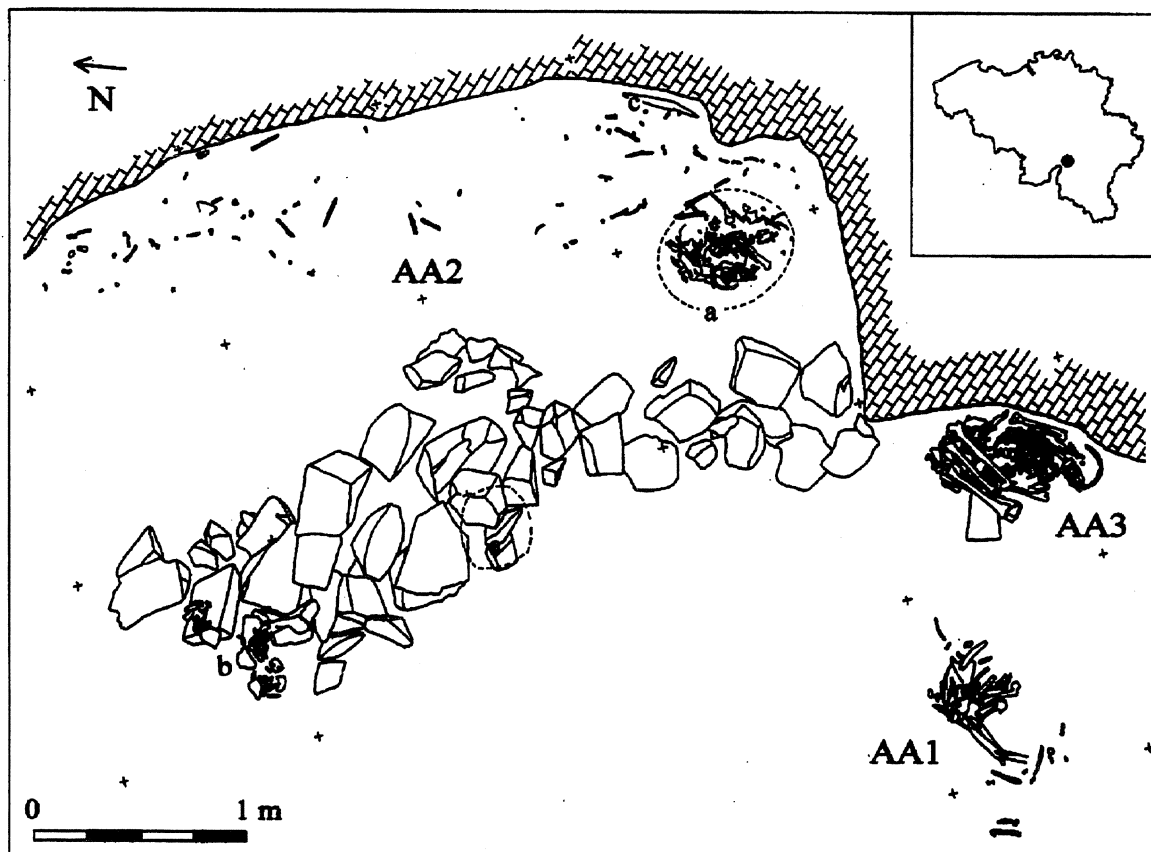


Figure 1 : Localisation de l'abri des Autours et plan de répartition des vestiges exhumés. a. aire circulaire, b. déblai de fouilles antérieures inédites, c. fissure dans la paroi rocheuse.

3. La sépulture collective mésolithique

La deuxième sépulture était délimitée par des blocs de calcaire (fig. 1-AA2). Elle contenait des squelettes disloqués et dispersés sur plusieurs mètres carrés, à l'exception de deux adultes situés dans une aire circulaire, éventuellement les derniers inhumés. Une petite fosse située sous l'empierrement de condamnation contenait un temporal. Dans une petite fissure de la paroi rocheuse (fig. 1-C), les Préhistoriques avaient rassemblé une trentaine d'os de la main et du pied. Une partie de cette sépulture a malheureusement été perturbée par des fouilles antérieures qui n'ont jamais été publiées.

Cette sépulture collective mésolithique a livré des ossements appartenant à au moins six adultes et six enfants.

Deux immatures sont décédés entre 2 et 4 ans, trois entre 5 et 11 ans et le plus âgé est un adolescent. Deux des ilions retrouvés appartiendraient à un garçon de 2-3 ans, l'autre à une fille de 7 ± 2 ans. Les restes des immatures sont éparpillés le long de la paroi rocheuse et sont totalement exclus du rassemblement circulaire.

Parmi les adultes, on dénombre un individu incinéré. Il serait décédé avant d'avoir atteint 23 ans. Pratiquement toutes les catégories anatomiques sont présentes à l'exception des pieds et des dents. Pour estimer la température de crémation, nous nous sommes basés sur la couleur des os (Susini *et al.*, 1988). Les ossements brûlés de l'abri des Autours, qui sont pour la plupart blanchâtres, ont dû être brûlés à plus de 700°C. Cette température peut paraître élevée mais des expé-

rimentations ont montré que la température d'un simple feu de camp peut monter jusqu'à 900-1000°C. Cependant pour qu'un cadavre atteigne cette température, il doit rester au moins deux heures sur le bûcher (Shipman *et al.*, 1984). La présence de fissures transversales et longitudinales s'entrecoupant à la surface de certains os permet de conclure qu'on a incinéré un cadavre plutôt qu'un squelette (Guillon, 1987).

Quant aux os des mains et des pieds rassemblés dans la fissure de la paroi rocheuse, ils appartenaient à au moins trois individus dont le sujet incinéré.

En ce qui concerne les squelettes découverts dans l'aire circulaire, l'un serait féminin et décédé dans la trentaine. L'autre, de sexe masculin, serait décédé à plus de 50 ans. Il présente au niveau des membres supérieurs et inférieurs des traces de périostite. Il s'agit d'inflammation des surfaces osseuses qui s'exprime principalement par une augmentation de la porosité (Dastugue et Gervais, 1992, p. 169-171). Etant donné que plusieurs ossements sont affectés, la cause de cette pathologie n'est probablement pas une inflammation localisée (résultant, par exemple, d'un traumatisme) mais plutôt une infection bactérienne. On pourrait penser à un stade peu avancé de tréponématose comme la syphilis (Ortner et Putschar, 1981, p. 180-218) ou à la tuberculose (Ortner et Putschar, 1981, p. 141-176). Cependant, aucun fragment de crâne et aucune vertèbre ne présentent les symptômes typiques de ces affections.

4. La sépulture individuelle mésolithique

La plus ancienne tombe (fig.1-AA3) contenait un individu inhumé dans une position peu naturelle : il était couché sur le dos, les genoux sont ramenés sur la poitrine, les pieds sont à la hauteur de la ceinture pelvienne (fig. 2). Cette position forcée suggère que le corps a été lié ou enfermé dans un sac.

Le squelette présente un très bon état de conservation. C'est d'ailleurs, pour la Belgique, le squelette mésolithique le plus complet. Toutefois, le crâne est fort fragmentaire. En ce qui concerne le squelette postcrânien, seuls le péroné droit et environ un tiers des os des mains et des pieds ont disparu. Sur base de l'étude du bassin, l'individu est très probablement de sexe féminin. Cette femme serait décédée à plus de 50 ans et mesurait un peu moins d'1m60.

Le squelette présente une série de pathologies traumatiques. La pathologie la plus spectaculaire concerne les avant-bras. Les deux cubitus et le radius gauche présentent des séquelles de fractures complètes à hauteur du tiers moyen de l'os (fig. 3). L'évolution de ces fractures n'a pas abouti à une consolidation normale : la cicatrisation du tissu osseux s'est faite sans union des fragments avec formation de pseudarthroses (Ortner et Putschar, 1981, p. 66-68 et 81-85). Cette absence de consolidation résulte probablement d'un défaut d'immobilisation. Du côté droit, l'avant bras a subi peu de déformation car le radius a servi d'attelle naturelle. Du côté gauche, par contre, le fragment distal de l'avant bras présente un angle de 115° avec le fragment proximal. La fracturation bilatérale des avant-bras corres-

pond vraisemblablement à une chute en avant avec réception sur les membres supérieurs. Le degré de développement des pseudarthroses permet d'affirmer que le décès s'est produit plus d'un an après le traumatisme (Dutour, comm. pers.).

Les suites de ce polytraumatisme ont du être particulièrement invalidantes : le sujet a momentanément été privé de l'usage de ses deux membres supérieurs, particulièrement du gauche, la mobilisation du droit étant possible mais douloureuse (Dutour, comm. pers.). Il est vraisemblable d'imaginer que pour survivre, ce sujet a été, sinon soigné, du moins assisté pendant la période de consolidation.

5. Modes d'inhumation

Les sépultures de l'abri des Autours illustrent la variabilité des pratiques funéraires aux époques préhistoriques. D'abord, s'est opéré le choix entre tombe individuelle ou collective. Ensuite, en ce qui concerne la sépulture mésolithique, un individu a été incinéré, les autres directement inhumés dans la grotte. Enfin, pour la tombe collective, il y a eu une sélection selon l'âge au décès : les juvéniles sont cantonnés dans la partie Nord de la sépulture. Il n'y a apparemment pas de sélection en fonction du sexe contrairement aux observations de Toussaint dans la sépulture du Mésolithique ancien de la grotte Margaux située à 800 m de l'abri des Autours (Toussaint, 1998).

Les squelettes des tombes collectives ont été désarticulés, leurs os ont été déplacés, triés et certains ont été prélevés. Les tris d'os de la main et du pied ainsi que la



Figure 2 : Sépulture individuelle mésolithique de l'abri des Autours (photo P. Lacroix, „MRAH”).

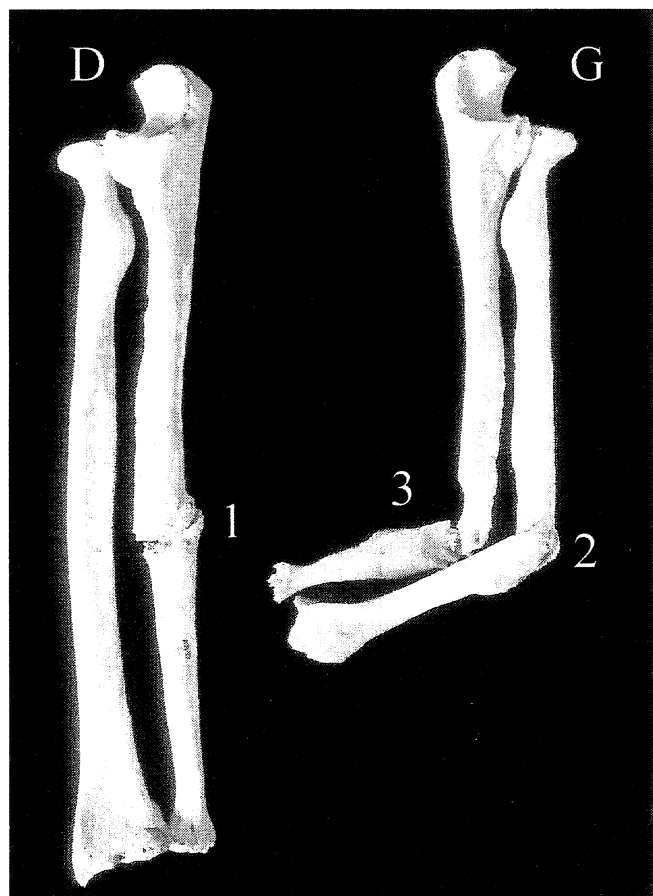


Figure 3 : Os de l'avant-bras de la femme mésolithique. On observe des séquelles de fractures à hauteur du tiers moyen sur les deux ulnas (1 et 3) et le radius gauche (2). La cicatrisation du tissu osseux s'est faite sans union des fragments avec formation de pseudarthroses.

sous-représentation d'os solides comme les crânes et les os longs étayent ces affirmations. Aucune trace de dépeçage n'a été observée au contraire de la grotte Margaux (Toussaint, 1998). La tombe individuelle n'a pas été perturbée et le squelette, resté en connexion, a conservé une position contractée qui suggère l'existence de moyens de contention périssables.

6. Conclusions

L'abri des Autours est un site exceptionnel par sa durée d'utilisation. Il confirme la présence d'ossuaires remontant au Mésolithique ancien et au Néolithique moyen dans les grottes de Belgique.

L'étude anthropologique des trois ensembles sépulcraux apporte des renseignements sur les défunts qui y ont été inhumés et illustre la complexité et la diversité des modes d'inhumation pratiqués à ces époques.

7. Bibliographie

- Blero, P., 1997. Peut-on tirer parti des collections anciennes ? L'exemple de l'étude des ossements humains de la caverne O (Waulsort, Namur). *Notae Praehistoricae* 17 : 169-176.
- Cauwe, N., 1995. Chronologie des sépultures de l'Abri des Autours à Anseremme-Dinant. *Notae Praehistoricae* 15 : 51-60.
- Dastugue, J. et Gervais, V., 1992. *Paléopathologie du squelette humain*. Paris, Boubée, 253 p.
- Guillon, F., 1987. Brûlés frais ou brûlés secs ? In : Duday, H., Masset, C. (éd.), *Anthropologie physique et Archéologie, méthodes d'études des sépultures*, éditions du CNRS, Paris : 91-194.
- Jadin, I. et Carpentier, M., 1994. La sépulture mésolithique du Petit Ri à Malonne (Namur, Belgique). Contexte archéologique et position chronologique. *Anthropologie et Préhistoire* 105 : 65-82.
- Masset, C. et Rozoy, J.-G., Une «grotte mosane» près de Givet : Nichet-2 à Fromelennes (Ardennes, France). Note préliminaire. In : Plumier, J. (éd.), *Actes de la cinquième Journée d'Archéologie namuroise*, Ministère de la Région wallonne, Namur, 1997, pp. 53-59.
- Ortner, D. J. et Putschar, W. F. J., 1981. *Identification of pathological conditions in human skeletal remains*. *Smithsonian contributions to Anthropology* 28, Washington, Smithsonian Institution Press, 479 p.
- Shipman, P., Foster, G. et Schoeninger, M., 1984. Burnt bones and teeth : an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of archaeological Science* 11 : 307-325.
- Susini, A., Baud, C.-A. et Tochon-Danguy, H.-J., 1988. Identification d'un traitement thermique des os préhistoriques humains. In : Buchet, L. (éd.), *Anthropologie et Histoire ou Anthropologie historique, Notes et Monographies technique n° 24*, éditions du CNRS, Paris : 43-67.
- Toussaint, M., 1998. Approche anthropologique des ossements humains mésolithiques anciens de la grotte Margaux, à Dinant. In : Cauwe, N. (éd.), *La grotte Margaux à Anseremme-Dinant. Etude d'une sépulture collective du Mésolithique ancien*, ERAUL 59, Liège : 39-44.

Hochifen et Gottesackerplateau (Alpes bavaroises-Allemagne), un terrain de recherches spéléologiques international.

Gaëlle & Wilfried ROSENDAHL

Geologisch-Palaontologisches Institut TU Darmstadt - Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher
Schnittspahnstrasse, 9 - D-64287 Darmstadt
wilfro@geo.tu-darmstadt.de

Résumé

Description géologique et spéléologique des grottes dans la région frontière du plateau de Hochifen-Gottesacker.

Abstract

Geological overview and caving results of the Hochifen-Gottesacker plateau region in Germany.

Mots-clefs

Allemagne - Alpes bavaroises - Karst.

Keywords

Germany - Bavarian Alps - Karst.

1. Géographie

Le domaine karstique «Hochifen-Gottesacker-plateau» est situé à environ 150 km au sud-ouest de Munich dans la région autrichienne Kleinwalsertal, rattachée d'un point de vue douanier à l'Allemagne (fig. 1). La frontière entre l'Allemagne et l'Autriche traverse le terrain de recherches. L'altitude moyenne du plateau est de 1800 m au-dessus du niveau de la mer; le point le plus élevé est le sommet du Hochifen qui atteint une altitude de 2300 m (fig. 2).

2. Géologie

D'un point de vue géologique, le Hochifen-Gottesackerplateau appartient à l'Helveticum. A

côté des Drusbergschichten et du calcaire urgonien (en Allemand Schrätenkalk), des sédiments du Crétacé inférieur (Barrémien et Aptien, 100-110 millions d'années) sont également visibles. Les dépôts du Crétacé moyen (Gaultien) n'ont survécu que sous forme de reliques, par exemple dans des fissures karstiques (paléokarst). Les Drusbergschichten sont formées par une succession, épaisse de 100 à 300 m, d'argiles et de marnes. Le calcaire urgonien est un dépôt de shelf atteignant une épaisseur de 100 m et contenant par endroits de nombreux restes d'organismes (Scholz 1984).

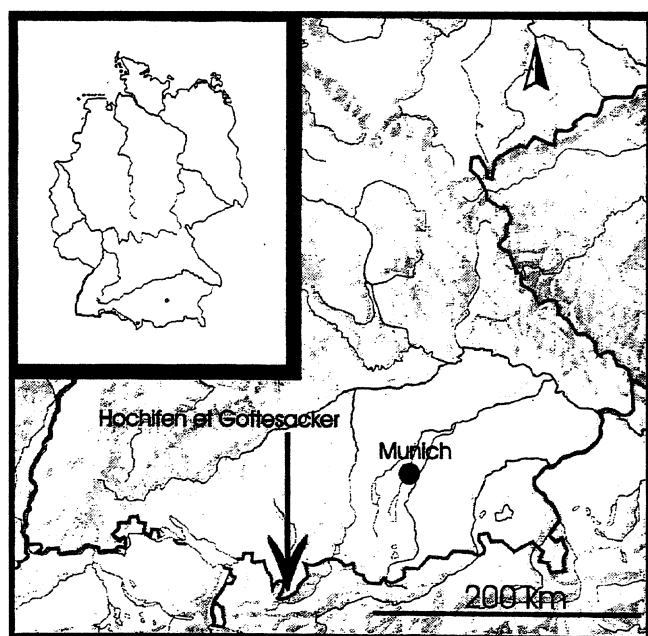


Figure 1: Situation géographique du Gottesackerplateau et du Hochifen (Carte Rosendahl).

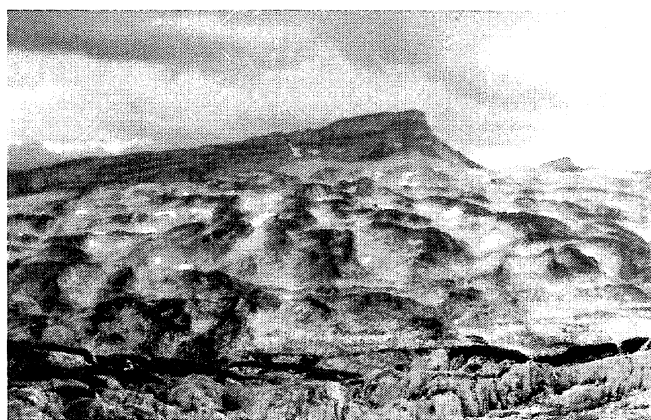


Figure 2: Vue sur le Hochifen et le Gottesackerplateau central (Photo Rosendahl).

Cette succession est, dans la région Hochifen-Gottesackerplateau, séparée en deux parties par une bande d'argile foncée, l'une épaisse de 75m (calcaire urgonien supérieur) et l'autre de 25m (calcaire urgonien inférieur). La strate helvétique montre ici un plissement très intense, comparable aux plis formés par une nappe poussée par-dessus une

table (fig. 3). La structure est principalement détruite ou érodée aux zones de plus grande instabilité, c.à.d. aux pliures. Les anticlinaux et synclinaux sont asymétriques, les synclinaux plissés, les anticlinaux déversés vers le Nord.

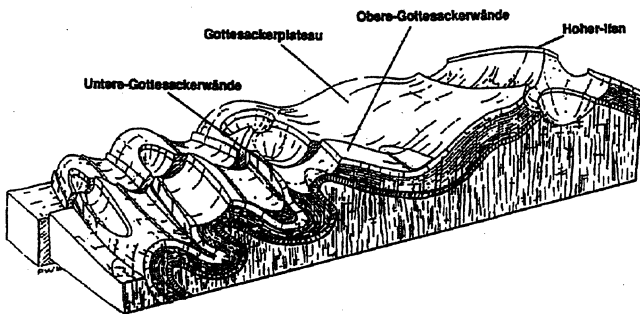


Figure 3: Illustration en trois dimensions simplifiée du plissement du Gotesackerplateau central et du Hochifen (Dessin Rosendahl d'après Wurster in Rosendahl 1997).

D'un point de vue hydrologique, les synclinaux plongeant sont les voies principales d'écoulement des eaux karstiques, tandis que les anticlinaux marquent les lignes de partage des eaux. Les eaux karstiques s'écoulent dans des vallées développées perpendiculairement aux plis.

La région est dominée d'un point de vue tectonique par deux systèmes de failles principaux. Les failles NE sont pour la plupart colmatées par des minéralisations (Wagner 1950). Les failles NO, élargies par corrosion, sont plus récentes.

3. Spéléologie

Bien que l'exploration géologique et morphologique du plateau remonte à plus d'un siècle et que sa richesse en grottes ait été régulièrement soulignée, les recherches spéléologiques se sont surtout concentrées jusqu'à la moitié des années 90 sur les vallées adjacentes où se trouvent des grottes telles que le Hölloch (5234 m de longueur, 366 m de profondeur) dans la vallée de la Mahd (Mahdtal) ou le Schneckenloch (2010 m de longueur, 164 m de profondeur).

En 1994, le groupe de travail «Grottes et Karst» de Grabenstetten et le groupe spéléologique de Letmathe ont commencé une prospection systématique du centre du Gotesackerplateau d'un point de vue spéléologique (Rosendahl 1997). Depuis, plusieurs campagnes de recherches sont organisées chaque année par les deux groupes.

Ceci a permis de découvrir environ 120 entrées verticales ou horizontales, de les marquer

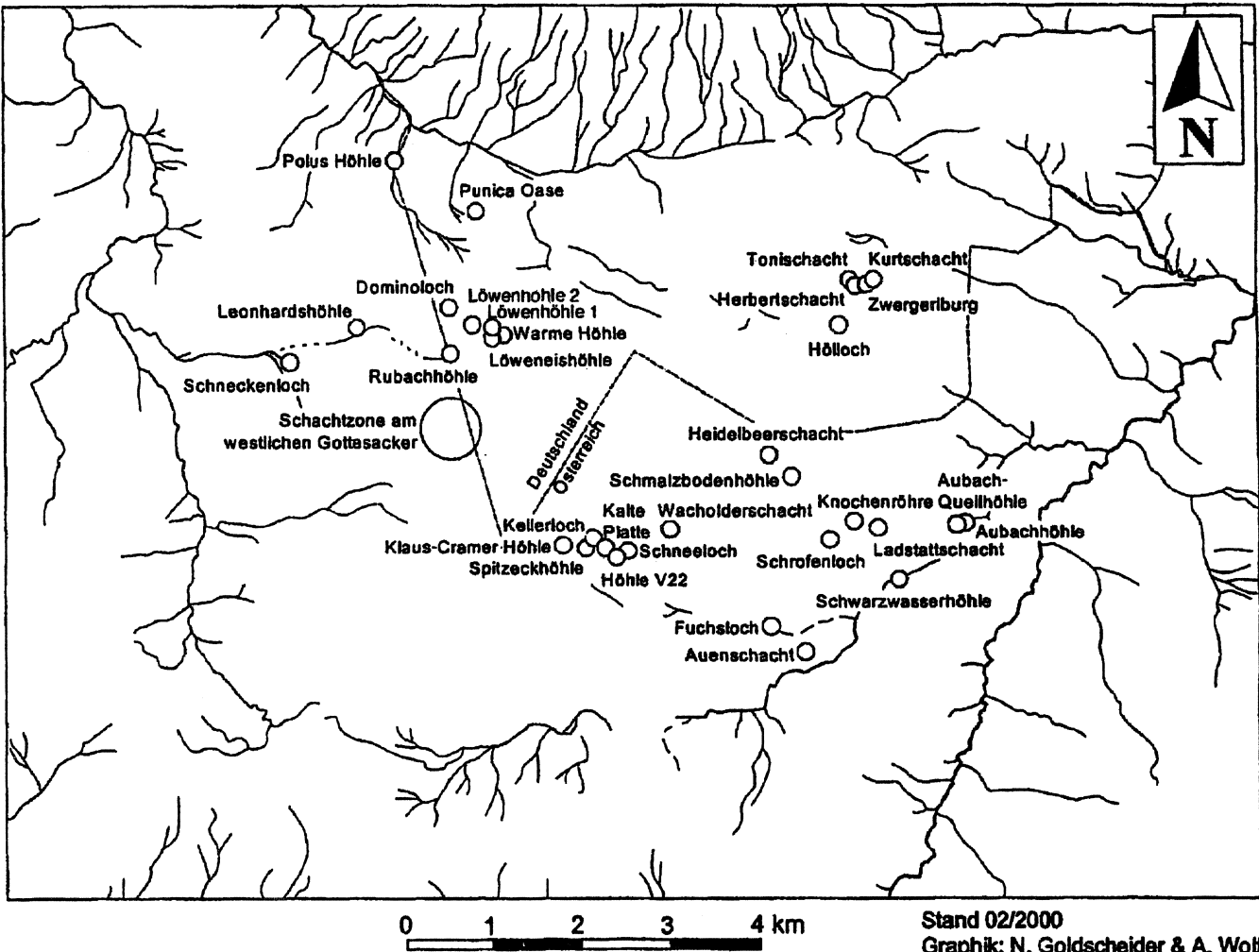


Figure 4: Situation des 24 grottes les plus longues (plus de 50 m de longueur) dans le domaine Gotesackerplateau-Hochifen. Les lignes en pointillé représentent la frontière entre l'Allemagne et l'Autriche (Fumy et al. 2000).

et de mesurer leur situation géographique. 30 des cavités découvertes furent explorées plus profondément et cartographiées. On peut entre autres nommer la Klaus-Cramer-Höhle (Grotte de Klaus Cramer) avec une longueur de 610 m et une profondeur de 62, ainsi que la Spitzeckhöhle, longue de 710 m et profonde de 145. Ces deux grottes recèlent encore un potentiel certain (Fumy et al. 2000). La situation des 24 grottes les plus longues est illustrée en fig. 4. A côté de l'exploration des grottes, la documentation des formes de l'exokarst (différentes formes de lapiaz et dolines, voir fig. 5; Rosendahl 2000) et diverses analyses scientifiques n'ont pas été oubliées, comme par exemple les datations de concrétions provenant de la Klaus-Cramer-Höhle, à 2000m d'altitude. Dans cette grotte, des stalagmites appartenant à deux générations différentes furent prélevées puis datées à l'aide de la méthode TIMS U/Th. Elles appartiennent respectivement aux interstades des 7 et 5a, basé sur les isotopes de l'oxygène (Rosendahl et al. 2000).



Figure 5: Lapiaz sur le Gottesackerplateau
(Photo Rosendahl).

En ce qui concerne la spéléogénèse on peut dire que la région du Gottesackerplateau et du Hochifen, contrairement aux régions karstiques étendues de l'Est des Alpes calcaires nordiques,

n'a subi un creusement karstique qu'à partir du Plio-Pléistocène (Goldscheider et al. 2000) puisque le calcaire urgonien était auparavant recouvert de Flysch. Le creusement karstique et la formation de grottes s'oriente strictement selon les tracés tectoniques du synclinal ainsi que selon les failles et est dirigé vers les affluents actifs à l'heure actuelle (Goldscheider et al. 2000).

4. Recherches internationales et traces de spéléologues belges.

Les recherches spéléologiques sur le Gottesackerplateau recèlent également des traces belges. On dit qu'en 1972, deux groupes en provenance de Liège ont fait des recherches sur le plateau. Le «Trou des Belges» (Belgierloch) date de cette époque. Il a 66 m de longueur et 28 m de profondeur. Etant donné qu'aucune donnée précise ne se trouvait ni dans le cadastre allemand ni dans l'autrichien, nous avons demandé lors de la journée de spéléologie scientifique 2000 si quelqu'un pourrait nous fournir des informations. Il y eut deux interventions ainsi que des indications concernant des activités belges dans la région du Gottesackerplateau. Nous serions reconnaissants pour toute information supplémentaire ou envoi de copie d'articles.

Bien évidemment, nous sommes à la disposition de chacun pour toute question concernant le stade actuel des recherches.

5. Bibliographie

- Fumy R., Mammel F., Niggemann S., Orth, J.-P., Rosendahl W., Schafroth J., Vater K. & Wolf A., 2000. Die Höhlen des Gottesacker-Hochifen-Gebietes.- Hochifen und Gottesackerplateau und eine Karstlandschaft zwischen Bregenzer Wald und Allgäuer Alpen, Jahrbuch Karst & Höhle 2000/2001 : 89-157. München.
- Goldscheider N. & Hotzel H., 2000. Tektonik und Karstentwässerung.- Hochifen und Gottesackerplateau eine Karstlandschaft zwischen Bregenzer Wald und Allgauer Alpen, Jahrbuch Karst & Höhle 2000/2001 : 51-82. München.
- Goldscheider N., Niggemann, S. & Rosendahl, W., 2000. Berlegungen zur Speleogenese im Gebiet von Hochifen und Gottesacker. Hochifen und Gottesackerplateau und eine Karstlandschaft zwischen Bregenzer Wald und Allgauer Alpen, Jahrbuch Karst & Höhle 2000/2001 : 159-165. München.
- Rosendahl W., 1997. Höhlen- und Karstforschung am Hochifen n Gottesackerplateau.- Akten des 10. Nationalen Kongress für Höhlenforschung, S. : 180-182; Birkhauser Basel.
- Rosendahl W., 2000. Die Formen des Oberflochenkarstes (Exokarst) im Gebiet Hochifen-Gottesackerplateau / Kleinwalsertal.- Hochifen und Gottesackerplateau mit eine Karstlandschaft zwischen Bregenzer Wald und Allgauer Alpen, Jahrbuch Karst & Höhle 2000/2001, 83-88; München.

Rosendahl W., Wiegand B., Eisenhauer A. & Kempe S., 2000. Paleoklima im Pleistozen der Allgauer Alpen - speleochronologische Beiträge aus der Klaus-Cramer Höhle / Region Hochifen-Gottesackerplateau.- Hochifen und Gottesacker-plateau eine Karstlandschaft zwischen Bregenzer Wald und Allgauer Alpen, Jahrbuch Karst & Höhle 2000/2001 : 175-182. München.

Scholz, H., 1984. Bioherme und Biostrome im Allgauer Schrattenkalk (Helvetikum, Unterkreide).- jb. Geol. B.-A. : 127(3), S. 472-499. Wien.

Wagner G., 1950. Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. Eine Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte des Gebietes zwischen Iller und Bregenzer Ach : 116 S. Ehningen.

Coloration de la Lesse souterraine de Furfooz à Chaleux

Erik VAN DEN BROECK

HADES

Audemaelestraat, 46 - Erembodegem

erik@speleo.freegates.be

Résumé

La coloration du double recouplement souterrain de méandre de la Lesse à Furfooz, par le Speleoklub Hades (VVS) en 1998 a permis de démontrer une connection entre le Puits des Vaux, la Galerie des Sources, deux résurgences, ainsi que la connection entre le cours souterrain et la Lesse aérienne.

Abstract

A dye tracing of the twofold underground meander cutting of the Lesse river at Furfooz, Belgium was done by the Speleoklub Hades in 1998. It demonstrates that a connection exists between The Puits des Vaux, the Galerie des Sources, two near springs as well as between the underground system and the Lesse river, flowing at the surface.

Mots-clefs

Lesse - Coloration - Hydrologie karstique

Keywords

Lesse - Dye Tracers - Karst hydrology

1. Historique

Deux colorations (les premières connues), effectuées par Van den Broeck en 1902, ont démontré, d'une part, la connexion entre la chantoire des Nutons (CDN), la galerie des Sources (GDS) et le trou de la Loutre (TDL) par un double recouplement souterrain des deux méandres de la Lesse entre Furfooz et Chaleux et, d'autre part, le phénomène, rare, de la Lesse souterraine passant en-dessous de la Lesse aérienne (fig. 1 et 2).

Les expériences de 1988-1992 menées par le «Werkgroep Fysische Speleologie» (WGFS) de Speleo Nederland font supposer l'existence de cours parallèles qui se joignent et qui se séparent. Le WGFS a effectué

deux colorations supplémentaires à celles de Van den Broeck : la première, dans l'entrée inférieure de la Galerie des Sources et la seconde, réalisée par des plongeurs, dans la Salle Kasper dans le réseau actif de la grotte.

Les résultats de Van den Broeck sur le trajet Galerie des Sources / Trou de La Loutre ont été confirmés. En plus le résultat positif d'une petite résurgence sous le Trou Baleux prouva une connexion avec la Lesse Souterraine. Cette résurgence n'a, soit, pas été remarquée en 1902, soit, elle n'est apparue qu'après.

La connection entre la Salle Kasper et cette petite résurgence restant négative, l'eau semble shunter par ce trajet, qui est plus court de 40 mètres.

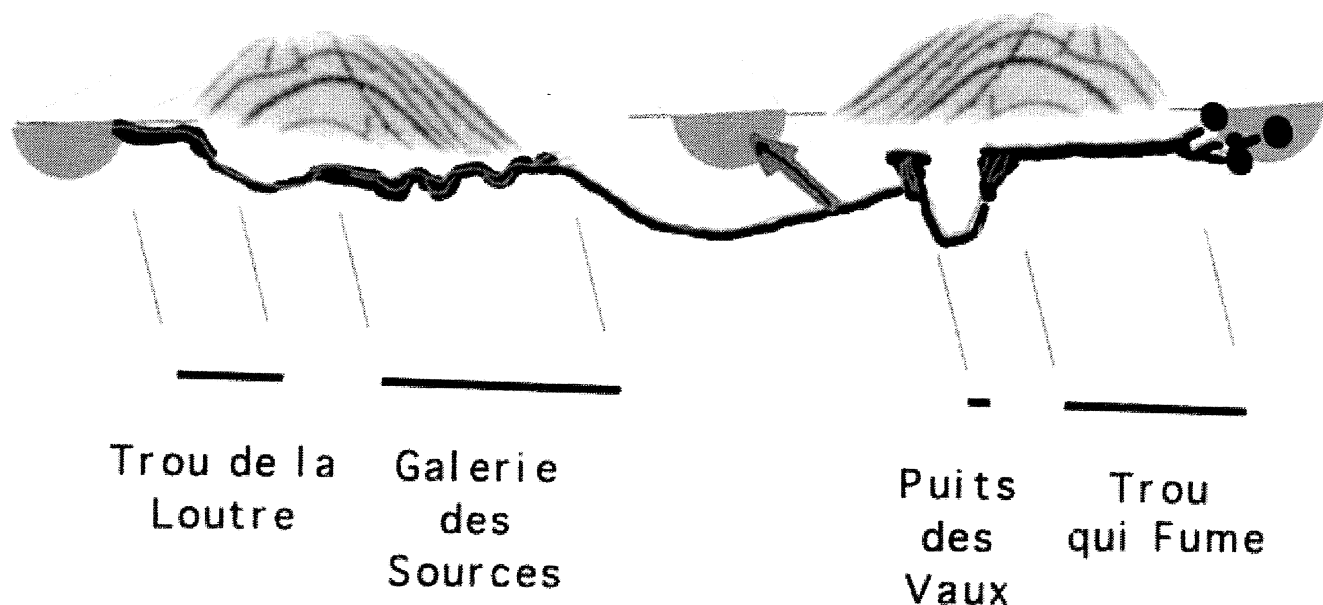


Figure 1 : Situation en coupe des différents phénomènes karstiques.

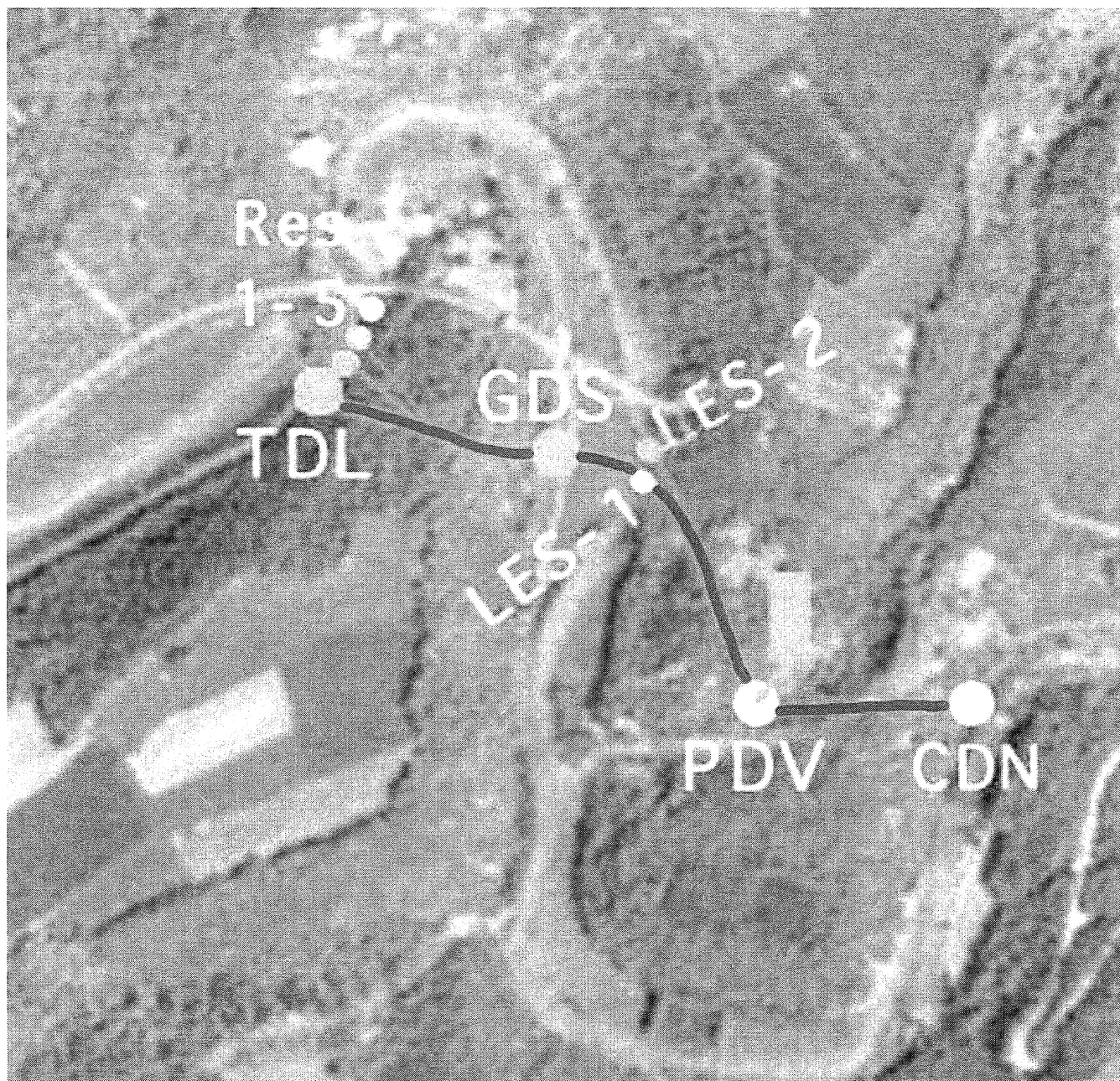


Figure 2 : Vue en plan du cours d'eau souterrain présumé. TDL = trou de la Loutre, GDS = galerie des Sources, PDV = puits des Vaux, CDN = chantoire de Nutons, Res 1-5 = résurgences 1 à 5, LES-1 et LES-2 = emplacements des capteur dans la Lesse aérienne.

2. But de notre coloration

En novembre 1998, le Speleoklub Hades a effectué une nouvelle coloration afin de vérifier l'existence d'éventuels court-circuits lors du passage de la Lesse souterraine en-dessous de la Lesse aérienne.

Malgré le temps pluvieux au début de notre expérience, la Lesse n'était pas encore en crue et on a décidé de ne pas répéter les colorations antérieures mais de faire une double coloration pour obtenir un maximum d'information en un temps limité.

Test 1 : coloration à partir du Puits des Vaux pour détecter des pertes, courts-circuits ou des vraies résurgences de la Lesse souterraine vers la Lesse souterraine après la première boucle (entre la chantoire des Nutons et la Lesse en face de l'entrée de la Galerie des Sources). C'est une expérience historique qui n'a encore jamais été faite avant.

Test 2 : chercher des différences avec les colorations antérieures dans la deuxième boucle, vers les résurgences, pour essayer d'y voir une évolution dans le cours de la Lesse souterraine.

Bénéficiant d'un temps d'écoulement du Puits des Vaux vers la Galerie des Sources d'environ 46 heures, nous étions certain d'avoir deux colorations indépendantes et sans interférence, à condition de récolter de multiples échantillons régulièrement dans la Galerie des Sources.

3. Coloration : observations et conclusions

Le samedi 14 novembre vers 10h00, 250 grammes de fluorescéine, mélangés à 750 grammes de soude et 5 litres d'eau, ont été versés dans le Puits des Vaux (Furfooz) troublant de façon visible le courant de la Lesse souterraine pendant 18 heures.

Vers 13h45, nous avons versé dans le cours d'eau près de l'entrée de la Galerie des Sources (Hulsonniaux), un mélange de 100 g de fluorescéine, 2 litres d'eau et 250 g de soude, qui disparaissait lentement dans le premier siphon 10 minutes plus tard. Vers 21 h 15, l'eau du Trou de la Loutre était visiblement verte. Il est à remarquer que le niveau de l'eau a monté de 10 cm, en moyenne, durant toute l'expérience, avec une pointe à 40 cm. Le dimanche 15 novembre, vers 14 h 30, l'eau avait retrouvé son aspect normal.

A ce moment, la résurgence en-dessous du Trou Baleux (RES-4), commença à regluer ses eaux de crue, positive en fluo, avec un maximum après 12 heures. Les capteurs positifs de RES-4 et RES-5 démontrent la possibilité d'autres résurgences mais n'agissant, apparemment, que comme systèmes de trop-plein malgré un trajet plus court que vers le Trou de la Loutre, avec des débits moins importants.

Les capteurs LES-1 et LES-2 qui ont été placés respectivement à 60 et 30 m en amont du pont du chemin de fer ont été renouvelés plusieurs fois entre dimanche 15 et mercredi 18 novembre. Même procédure avec les deux capteurs dans la Galerie des Sources (GDS). Ces capteurs ont démontré un court-circuit souterrain de la Lesse aérienne.

Pour la première fois, nous avons démontré l'existence d'une résurgence des eaux de la Lesse Souterraine, LES-2, qui donne un pic en fluorescéine environ 45 heures après le début de notre expérience (et en LES-1, plus en amont, un pic après 50 h), le pic en fluo dans GDS n'étant atteint qu'après 62 heures.

La concentration sortant de LES-2 atteint environ la moitié de celle mesurée dans GDS. On peut donc parler d'une vraie résurgence. La coloration y était encore positive quand la fluo avait déjà disparue des eaux de la GDS. Primeur, donc !

Mais nous avons besoin de plus d'informations pour identifier d'éventuelles diffusions des cours de la Lesse Souterraine, marquées par des effondrements de surface qui se forment toujours régulièrement.

Un de nos objectifs pour le futur, pour se faire une idée plus précise de ce qui se passe entre le PDV et la GDS, est de réaliser un nouveau traçage. Pour mener à bien cette expérience, nous lançons un appel à tout qui, individu ou association, voudrait venir nous aider.

4. Remerciements

Ces expériences ont été réalisées avec l'aide de Guido Verhoeven (NTS), Peter Ponsaerts (SC Krypta), Paul De Bie (SC Avalon), Eric Walch (Speleo Nederland), Stuart France (CSS), Richard Grebeude (UBS), Georges Thys (CPSS - Comité pour la Protection des Sites Spéléologiques), Pierre "Bambou" Vanhamme (Ciney), Charles Verstraeten en Freddy Guerrieri (Conservateur et sous-conservateur du Parc National de Furefuz et Ardenne & Gaume), Gérard Minet (Service Eaux et Forêts).

Activité sur le terrain: Linda et Gina De Bock, Frederik et Jochen Meert (SC Hades Aalst), Erwin Lokhorst et Monique Vollenga (Speleo Nederland). Analyse des capteurs: Frederik Meert à l'Université R.U.Gent.

Les concrétions, enregistreurs naturels.

Sophie Verheyden,

Vrije Universiteit Brussel, Spéléo Club de Belgique, C.S.A.R.I.

Rue des Champs Elysées, 40 - 1050 Ixelles

sverheyd@vub.ac.be

Résumé

La composition, la structure et même la forme des stalagmites, dépendent des conditions environnementales et climatiques en surface. L'étude des stalagmites permet donc de reconstruire d'anciens environnements et le climat passé.

Abstract

The composition, the internal structure and even the shape of stalagmites depend on the environmental and climatic conditions at the surface. The study of stalagmites reveals therefore information on past environments and climate.

Mots-clefs

Spéléothème - Stalagmite - Belgique - Climat.

Keywords

Speleothem - Stalagmite - Belgium - Climate.

1. Introduction

Les grandes variations climatiques à l'échelle mondiale, les cycles froid-chaud ou glaciaire-interglaciaire, nous sont bien connues par l'étude des dépôts marins et des glaces polaires. L'analyse des pollens, des micro-fossiles (invisible à l'œil nu), des troncs d'arbres et de l'oxygène dans les tourbières et dans les dépôts lacustres a contribué à une meilleure connaissance du climat continental à une échelle plus locale et sur des périodes de temps plus courtes. Pourtant, un manque de possibilités de corrélation entre les événements climatiques de différentes régions existe. Ceci est principalement dû à l'absence de datation absolue. Les concrétions ou *spéléothèmes* peuvent apporter une solution à ce problème car toutes les données recueillies par diverses analyses sur ces dépôts, peuvent être placées dans un cadre temporel absolu, grâce aux datations U/Th (Quinif, 1990) et ¹⁴C. Les cristaux, les pollens et divers éléments chimiques dans les concrétions donnent des informations sur le climat passé à celui qui arrive à les déchiffrer.

2. Un milieu d'étude idéal

La grotte est un milieu d'étude idéal. Longuement préservée des animaux et de l'homme, elle contient de véritables enregistrements du climat et de l'environnement passé. Les dépôts meubles sédimentent plutôt durant les périodes froides, tandis que la formation de concrétions (= *spéléothèmes*) indique plutôt une période tempérée à chaude (Quinif, 1990). En effet, pendant les périodes glaciaires l'absence de végétation permet une érosion beaucoup plus importante et une grande quantité de sédiments est donc transportée en grotte. Pendant les interglaciaires, par contre, la production

accrue de CO₂ par les plantes rend l'eau de percolation très acide et celle-ci dissout donc plus de calcaire qu'elle re-dépose en grotte sous forme de concrétions. Donc, déjà la formation de la concrétion elle-même est indicative d'un climat tempéré et humide.

3. Des lames saisonnières

En général, les concrétions sont constituées d'une multitude de petits cristaux de CaCO₃. Entre ces cristaux on observe des espaces, c'est la porosité inter-cristalline. La taille de ces cristaux et la porosité dépendent de la concentration de calcaire dissous (saturation), de la rapidité du goutte-à-goutte, du nombre d'impuretés, etc. Ces caractéristiques changent de façon saisonnière, ce qui peut engendrer une alternance de couches claires, car poreuses et à petits cristaux, et de couches sombres, car denses et à plus grands cristaux (Genty, 1992). On pourrait donc idéalement retrouver des informations sur le climat d'il y a quelques milliers d'années, saison par saison.

4. Des concrétions triangulaires en Belgique

Les concrétions mono-cristallines, donc constituées d'un seul cristal, sont rares, sauf pour les fistuleuses.

La découverte récente de stalagmites et stalactites triangulaires dans la grotte de Hotton et la grotte de la Vilaine Source laisse supposer que les concrétions au cœur monocristallin ne sont pas rares en Belgique (Verheyden, en prép.).

La section triangulaire est apparemment formée par les trois faces formant un coin du cristal (rhomboèdre) de calcite. Des plus petits cristaux se forment perpendiculairement sur le monocristal, ce qui arrondit fortement les angles de la concrétion triangulaire.

Les stalagmites mono-cristallines demandent un lieu de cristallisation calme avec absence d'évaporation et accompagné d'un dégazage du CO_2 très lent (Hill et Forti, 1997). De telles conditions sont notamment rencontrées dans des cavités mal ventilées et occupées par une rivière. Elles sont donc très humides et contiennent beaucoup de CO_2 . L'absence d'évaporation et de dégazage rapide de l'eau formant la concrétion fait que celle-ci se dépose très lentement. Les grottes de Hotton et de la Vilaine Source, des grottes naturellement fermées et contenant une rivière sont donc des lieux propices à la formation de concrétions mono-cristallines.

5. Des archives climatiques

C'est principalement par le biais de l'eau de percolation que les informations climatiques vont être transférées de la surface vers la grotte pour être incorporées dans la concrétion. C'est ainsi que des pollens (Bastin, 1990) et des restes animaux (Brook, 1987) peuvent descendre sous terre, entraînés par les eaux de percolation et être piégés dans la calcite. Ils livrent donc des informations sur la flore et la faune présentes lors de la formation de la concrétion, même si celles-ci n'existent plus actuellement.

L'eau de percolation entraîne également divers éléments chimiques, comme le magnésium (Mg) et le strontium (Sr), présents dans le sol et dans le calcaire. La quantité de ces éléments en traces incorporés dans la concrétion dépend fortement de la quantité de pluie, mais aussi de l'érosion du calcaire et de la formation du sol, également liés au climat. Dans les régions sèches, des processus de dissolution-précipitation concentrent les éléments chimiques dans l'eau restante. Cette eau arrive donc en grotte fortement chargée. Plus il fait sec, plus l'eau, et donc également la concrétion, contiendra ces éléments. La quantité de magnésium et de strontium dans une concrétion donne donc des informations sur la pluviosité.

6. Un thermomètre dans les grottes

Les isotopes stables de l'oxygène (O) (voir encadré) sont présents en grande quantité dans les concrétions de calcite (CaCO_3). Dans les concrétions, les isotopes de l'oxygène donnent des informations sur la tem-

pérature de la grotte lorsque la concrétion s'est déposée. Ceci a condition que la concrétion se soit déposée en *équilibre*, c'est à dire très lentement, sans évaporation et sans départ rapide du CO_2 . Puisque la température de la grotte est souvent une moyenne annuelle de la température de surface on peut reconstruire le climat en surface.

En Belgique, une étude a démontré que les stalagmites des grottes de Hotton et de la Vilaine Source sont effectivement des enregistreurs de température. Par contre, les stalagmites de la grotte du Père Noël, où il fait légèrement plus sec, enregistrent plutôt la quantité d'évaporation de la cavité. Elles sont donc plutôt des indicateurs de l'humidité et donc de la quantité de pluie en surface (Verheyden, 2001).

7. Bibliographie

- Bastin B., 1990. L'analyse pollinique des concrétions stalagmitiques: méthodologie et résultats en provenance des grottes belges. *Karstologia Mémoires* 2, 3-10.
- Brook G.A., Keferl E.P. et Nickmann R.J., 1987. Paleoenvironmental data for N.W. Georgia USA, from fossils in cave speleothems. *Int. J. Speleol.* 16: 69-78.
- Genty D., 1992. Les spéléothèmes du tunnel de Godarville (Belgique): un exemple exceptionnel de concrétionnement moderne. Intérêt pour l'étude de la cinétique de la précipitation de la calcite et de sa relation avec les variations d'environnements. *Spéléochronos* 4: 3-29.
- Hill C.A. et Forti P., 1997. *Cave minerals of the world*. 2nd ed. National Speleological Society, 238p.
- Quinif Y., 1990. La datation des spéléothèmes (U/Th) appliquée aux séquences sédimentaires pour une mise en évidence des ruptures paléoclimatiques. *Karstologia Mémoires* n°2, 23-32.
- Verheyden S., 2001. *Speleothems as palaeoclimatic archives. Isotopic and geochemical study of the cave environment and its Late Quaternary records*. Thèse de doctorat, Vrije Universiteit Brussel.
- Verheyden S., en prép. Les concrétions triangulaires en Belgique.
- Etude co-financée par le Fond de la Recherche Scientifique-Flandre (FWO) et la Vrije Universiteit Brussel (VUB).

Problématique des karsts en roches silicatées non carbonatées. La grotte Mfoula, un cas dans les gneiss du Sud Cameroun

Luc WILLEMS¹, André POUCKET² & Jean-Paul VICAT³

¹ Lab. de Géologie et Géomorphologie du Quaternaire, Université de Liège

Rue Clémenceau, 197 - 4550 Villers-le-Temple

lw199@hotmail.com

² Université d'Orléans, U.D. Science de la Terre & UMR 6530 & UFR Science, France

³ Université de Ndjamena, Dpt Sciences de la Terre, Tchad

Résumé :

L'étude morphologique d'une grotte développée dans des gneiss non carbonatés au Cameroun méridional montre la nature karstique du phénomène. La présence d'alvéoles de paroi, d'un dôme, l'absence de fracturation au sein de la cavité et sa forme générale permettent de proposer une genèse en milieu noyé, en profondeur dans la roche saine. Cette genèse implique une mise en solution généralisée des formations peut-être en relation avec des bactéries.

Abstract

The geomorphologic study of a cave found in non-carbonaceous gneiss in Cameroun demonstrates the karstic nature of the phenomenon. The observations suggest that the cave was formed by dissolution of the host rock below the watertable, possibly in relation with a bacterial activity.

Mots clefs

Afrique Centrale - Cameroun - Grotte de Mfoula- Karst silicaté - Pseudo karst.

Keywords

Central Africa - Cameroun - Mfoula cave - Silicated karst - Pseudokarst.

1. Introduction

Depuis quelques décennies, des morphologies similaires à celles qui sont répertoriées dans les karsts calcaires ont été trouvées dans des roches silicatées non carbonatées (p. ex. : Renault, 1953; Urbani, 1979 ; Chabert et Courbon, 1997; Wray, 1997; Willems, 2000).

Au Niger occidental, nous avons étudié une dizaine de grottes s'ouvrant dans diverses lithologies.

Ainsi, la grotte de Diffa Doga, se développe horizontalement sur plus de cinquante mètres à l'intérieur d'un massif de grès non carbonaté et présente des salles donnant accès à des passages étroits non explorés (Willems et al., 1996 ; Willems, 2000).

Les restes d'une autre cavité se localisent dans des métagabbros peu altérés (Guéssédoundou) (Willems et al., 1996 ; Willems, 2000).

Au Cameroun, différentes formes de types karstiques sont trouvées dans divers types de roche (Lips, 1995; Vicat et al., 1996; Willems et al., 1997; Vicat et al., 1998; Lips et Vicat, 1998; Vicat et Willems, 1998 ; Willems et al., 2000 ; Willems, 2000).

Dans les massifs granitiques, on peut observer notamment des mégalapiés, des cavités qui pour certaines n'ont jamais été explorées (falaise d'Ako Akas), des tubes de paroi, des concrétions pop-corns ou draperies (intérieur de la grotte de Mezesse) formées de silice et des traces de corrosion en nids d'abeille.

Diverses grottes, alvéoles de paroi, marmites et colonnes de dissolution sont également répertoriées dans des micaschistes.

A l'exception des formes développées dans les évaporites (sel gemme, gypse et anhydrite), ce type de morphologie est peu connu et répertorié. Afin de nous faire une idée plus précise de ce qui existe, nous avons réalisé un dépouillement bibliographique concernant la

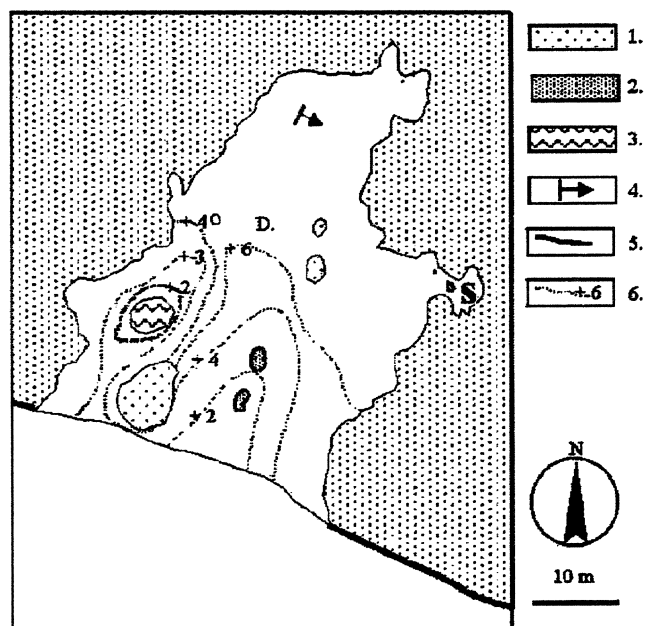


Figure 1: plan de la grotte de Mfoula (d'après Willems et al., 1997). 1: roche en place, 2: blocs effondrés, 3: dépression avec petite mare, 4: direction et pendage de la foliation, 5: rebord de la falaise, 6: courbe de niveau relative. D: voûte en dôme, S: petite salle annexe.

localisation des formes comparables au karst dans les grès, les quartzites, les granites, les gneiss, les micaschistes non carbonatés. Une majorité de sources provient de comptes-rendu spéléologiques et une incertitude demeure souvent quant à la présence ou non de carbonates dans les grès.

Si les formes mentionnées dans les grès et les quartzites apparaissent les plus nombreuses, l'absence de recherches karstiques dans les autres types de roches silicatées nous empêche de tirer toute conclusion. Les morphologies de type karstique trouvées dans les granites sont souvent des formes de surface telles que des lapiez ou des cuvettes de dissolution. Très peu de grottes sont mentionnées en dehors des traditionnelles cavités décrites dans des chaos granitiques. Les for-

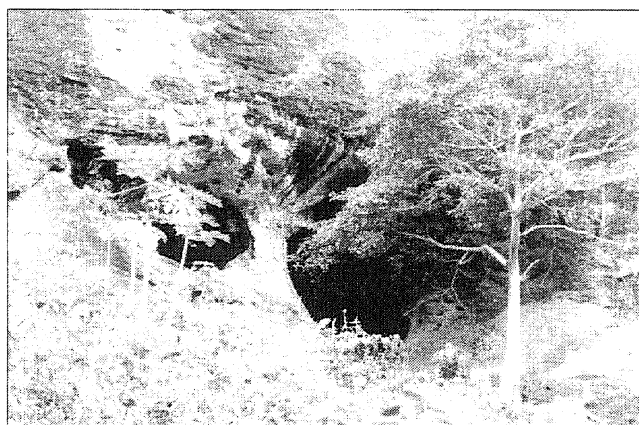


Photo 1 : vue extérieur de l'entrée de la cavité de Mfoula (cliché A. Pouclet)

mes de type karstique mentionnées dans les gneiss et les schistes sont plus rares encore et n'ont fait l'objet que de très peu d'études.

Les différentes formes que nous avons répertoriées ou étudiées sont encore souvent considérées comme anecdotiques. Sans vraiment connaître leur genèse, de nombreux auteurs les désignent sous le vocable de «pseudokarsts». Le peu d'études qui leur sont consacrés entraîne une impression de rareté. Pourtant, leur

taille et leur nombre peuvent influencer fortement la morphologie d'un paysage et son évolution, comme c'est le cas pour les tepuys du Venezuela (par ex. : Urbani, 1978; Pouyllau et Seurin, 1985) ou encore, comme nous l'avons montré au Niger occidental.

L'analyse morphologique de certaines grottes révèle une histoire cachée, plus complexe, où les processus chimiques ont initialement joué un rôle déterminant dans leur formation comme c'est le cas de la grotte de Mfoula, au Cameroun que nous allons aborder maintenant.

2. Mfoula, une grotte dans les gneiss

Le site de Mfoula se trouve à 80 km au nord-est de Yaoundé. Une colline en demi-orange est limitée partiellement par une falaise parallèle à l'axe d'une large vallée occupée par un écoulement temporaire.

La grotte s'ouvre au pied de l'escarpement et s'enfonce à l'horizontale d'une soixantaine de mètres dans la colline (ph. 1, 2 et 3).

La cavité se développe dans des gneiss qui présentent une foliation majeure subhorizontale. La grotte a une largeur moyenne de 30 mètres (fig. 1) pour une hauteur pouvant atteindre les 10 mètres. Aucune trace d'écoulement n'est visible à l'intérieur de la cavité qui est entièrement sèche.

On notera également l'absence de toute fracturation verticale et de blocs effondrés au sein de la cavité, à l'exception de quelques débris rocheux dans le porche d'entrée.

Morphologiquement la grotte est caractérisée par :

1. un plancher qui a un aspect relativement lisse,
2. des piliers résiduels, de section décimétrique à plurimétrique,
3. des alvéoles hémisphériques sur les parois subverticales et aux axes de développement variés (photo 4),
4. une voûte en dôme plurimétrique au plafond de la grotte (photo 5).

Une précédente étude attribue la formation de la cavité de Mfoula à l'infiltration des eaux pluviales le long de plans de fracturation subverticaux conjuguée à un

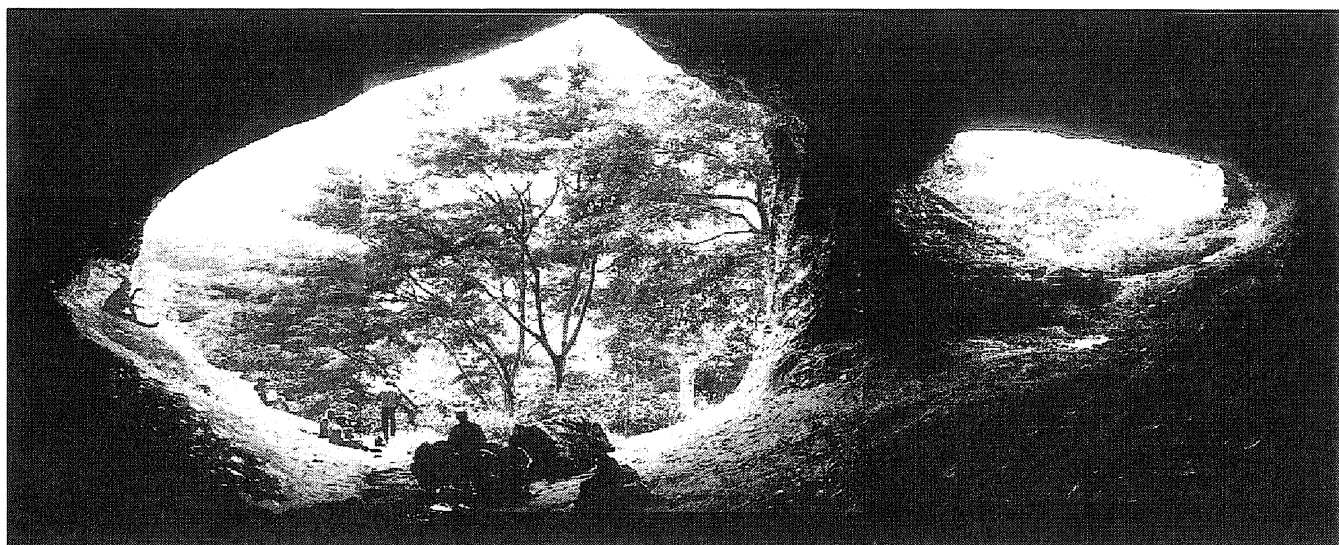


Photo 2 : vue de l'entrée de la cavité de Mfoula vue de l'intérieur (photo-montage)

drainage horizontal dans des fissures conformes aux plans de foliation. L'altération chimique, combinée à l'entraînement mécanique des résidus insolubles par une circulation d'eau, aurait généré la grotte (fig. 2) (Vicat et al., 1996).

L'analyse d'échantillons de roches saines et altérées montre:

1. l'absence de carbone au sein de la roche qui est donc non carbonatée,
2. la présence de phosphate (P_2O_5) au sein des gneiss où s'est développée la grotte,
3. que ce sont surtout les plagioclases (association albite et anorthite) qui ont fait les frais de la dissolution.

Cette hypothèse de formation de la grotte présente trois problèmes majeurs. Le premier est l'absence d'argiles résiduelles qui auraient dû être partiellement conservées dans les alvéoles de paroi ou au fond d'une petite chambre annexe séparée de la salle principale par un seuil (S, fig.1). Le second est l'absence de trace d'écoulement censé avoir évacué d'éventuelles argiles résiduelles. Le troisième est l'absence de fracturation subverticale à l'intérieur de la grotte.

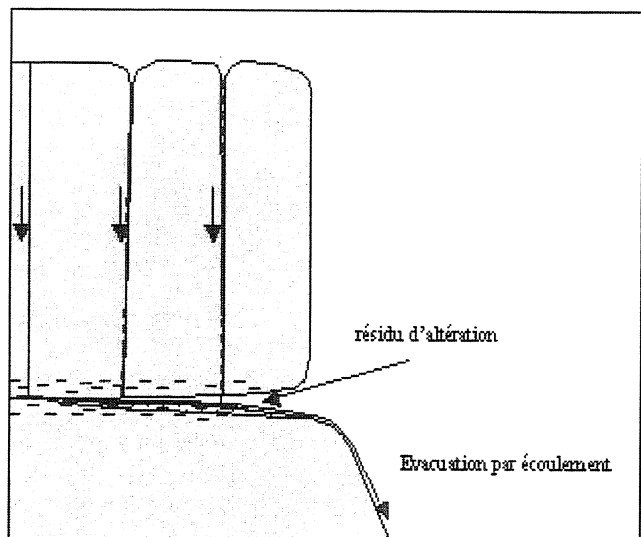


Figure 2 : hypothèse de formation de la grotte de Mfoula par infiltration des eaux pluviales le long de fracturations verticales et par évacuation des résidus d'altération par des processus d'écoulement.

La grotte de Mfoula serait donc issue d'une dissolution des gneiss en profondeur, à partir du plan de drainage que constitue le couloir de fracturation à l'emplacement de la vallée actuelle (fig. 3). Cette dissolution pourrait être provoquée par la présence de micro-organismes tirant notamment leur énergie du phosphore. L'abaissement des thalwegs va peu à peu dégager la cavité à l'intérieur de laquelle le niveau d'eau va fluctuer et provoquer la formation du dôme. L'érosion de surface se poursuivant, la grotte va s'assécher totalement et ne va pratiquement plus évoluer à l'air libre (Willems et al., 1997; Willems, 2000).



Photo 3: vue sur la partie centrale de la cavité de Mfoula (cliché A. Pouclet)

L'hypothèse d'une genèse au sein d'un manteau d'altération peut être écartée du fait de l'enfoncement de la grotte au sein du massif rocheux.

Une genèse en milieu noyé est plus probable et est suggérée notamment par la présence des alvéoles et du dôme.

A l'intérieur des grottes calcaires, dômes et alvéoles sont généralement attribuées soit à une corrosion au niveau de nœuds de fracturation, soit à des tourbillons d'eau (Jennings, 1987; White, 1988). L'absence de toute fracturation et de trace d'écoulement au sein de la cavité rendent obsolètes ces deux hypothèses.

Camille Ek (com. pers.) suggère l'hypothèse d'une poche d'air prisonnière d'une nappe d'eau et mise sous pression de façon prolongée en relation avec le battent d'un aquifère. L'augmentation de la pression partielle en CO_2 dans les poches d'air permettrait alors de gommer les irrégularités de la voûte et de former un dôme très régulier.

Si cette genèse en milieu noyé semble applicable à la grotte de Mfoula, elle implique une dissolution généralisée de la roche puisque aucun résidu d'altération n'y a été trouvé.

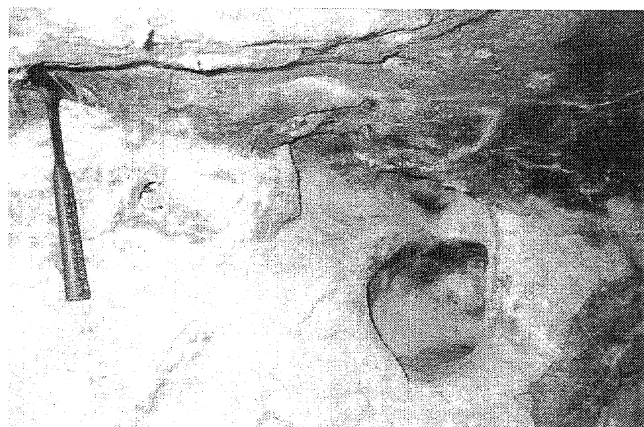


Photo 4: alvéoles de parois sur les parois verticales de la cavité de Mfoula (cliché JP Vicat)

3. Conclusion :

Différentes études menées montrent que le karst, envisagé comme forme et comme processus, peut se rencontrer dans toutes les lithologies, y compris celles qui sont réputées les plus insolubles. De grandes grottes sont trouvées et souvent peu ou non étudiées. Pourtant ces types de karsts peuvent influencer la géomorphologie et l'hydrologie d'une région.

D'un point de vue physico-chimique, les mécanismes permettant de solubiliser l'ensemble des constituants de la roche sont à ce jour inconnus. Cepen-

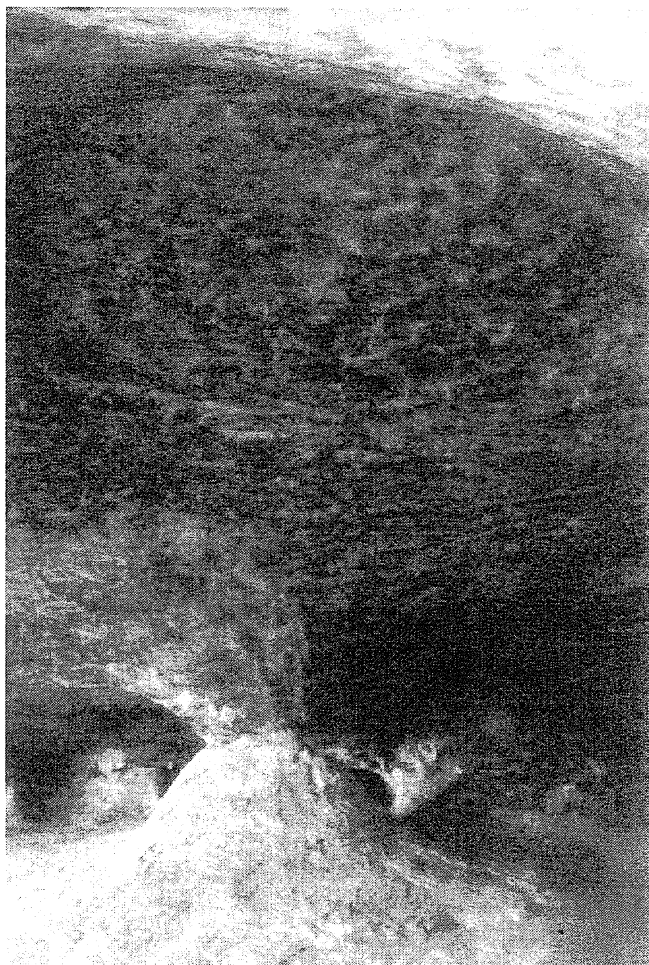


Photo 5: voûte en dôme de la grotte de Mfoula (taille, environ 6 m de diamètre).

dant, la découverte de bactéries vivant à plusieurs kilomètres de profondeur dans des roches (Balkwill, 1989; Sinclair et Ghiorse, 1989; Ehrlich, 1996, 1998) et leur capacité à produire quantités d'acides uniquement à partir de matières minérales ouvrent de nouvelles perspectives dans la compréhension de la genèse de formes souterraines notamment en roches silicatées mais également dans les calcaires. Dans cette dernière lithologie, ainsi que dans les évaporites, les morphologies initiées en profondeur doivent être très vite remaniées par les circulations de surface. Elles ne seraient donc que peu conservées. A l'inverse, la solubilité faible des roches silicatées préserve en grande partie les morphologies initialement mises en place en profondeur.

4. Bibliographie

- Balkwill D., 1989. Numbers, Diversity, and Morphological Characteristics of Aerobic, Chemoheterotrophic Bacteria in Deep Subsurface Sediments from a Site in South Carolina. *Geomicrob. J.*, 7 : 33-52.
- Chabert C. et Courbon P., 1997. Atlas des cavités non calcaires du Monde. Union Inter. Spéléol., 109 p.
- Ehrlich H.L., 1996. *Geomicrobiology*, 3rd edn. Marcel Dekker, New York, d'après Ehrlich, 1998.
- Ehrlich H.L., 1998. *Geomicrobiology: its significance for geology*. Elsevier, Earth.Sc. Rev. 45:45-60.

Jennings, J.N. (1987). *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell Ltd., 2ème éd., 79-80.

LIPS, B. (1995b). Spéléologie au Cameroun. *Echo des Vulcains*, 52: 18-37.

LIPS, B. et VICAT, J.P. (1998). Phénomènes karstiques dans les grès de Garoua (Nord-Cameroun). *Géosciences au Cameroun*, Vicat J.P. et Bilong éd., collect. GEOCAM 1/1998, Press. Univ. Yaoundé :101-106.

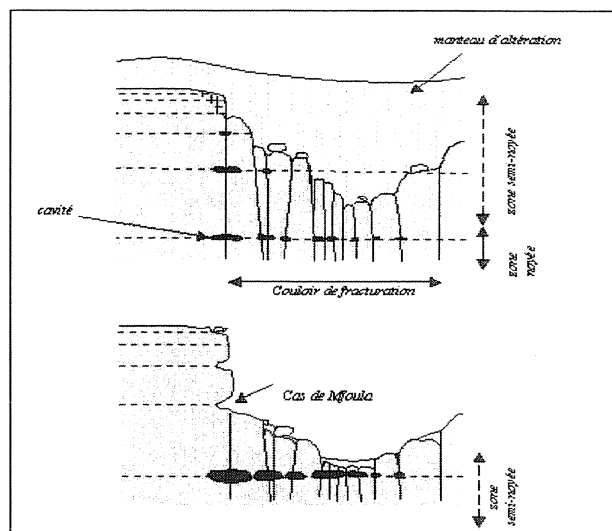


Figure 3 : Hypothèse de formation de la grotte de Mfoula par solubilisation généralisée des roches. A: phase de développement des cavités en milieu noyé. B: situation actuelle après dégagement de la couverture ferrallitique (modifié d'après Willems et al., 1997).

Pouyllau M. et Seurin M., 1985. Pseudo-karst dans des roches grés-quartzitiques de la formation Roraima. *Karstologia* n°5 : 45-52.

Renault Ph., 1953. Caractères généraux des grottes gréseuses du Sahara méridional. 1er Congrès Intern. de Spéléol. 2/1 : 275-289.

Sinclair J.L. et Ghiorse W.C., 1989. Distribution of Aerobic Bacteria, Protozoa, Algae, and Fungi in Deep Subsurface Sediments. *Geomicrobiol. Journ.*, 7 : 15-31.

Urbani F., 1978. Les karsts gréseux du Venezuela. *Spelunca* (Paris). 18, 1 : 25-28.

Urbani F. 1981. Karst development In siliceous rocks, Venezuelan Guiana Shield. *Proceed, 8th intern. congress speleol.* Bowling Green 1981: 548.

Urbani F. 1993. Quartzite caves in Venezuela. *Caves et Caving* nr. 61: 32-33.

Vicat J.P., Leger J.M., Ahmed Y. et Willems L. 1994. Les indices de déformation plio-quaternaire de la bordure occidentale du bassin des Iullemenden dans la région de Niamey (Niger). *Rev. de Géogr Alpine (Grenoble)*, Au contact Sahara-Sahel, Milieux et Sociétés du Niger, V. 1 : 15-24.

Vicat J.P. et Willems L. 1998. Les karsts siliceux d'Afrique. *Géosciences au Cameroun*, Vicat J.P. et Bilong éd., collect. GEOCAM 1/1998, Press. Univ. Yaoundé : 139-145.

Vicat J.P., Lips B., Pouclet A., Leger J.M. et Willems L. 1996. Phénomènes pseudo-karstiques dans les roches plutoniques et métamorphiques du Sud du Cameroun. *Karstologia*, n° 29, 1/97: 17-22.

- Vicat J.P., Willems L et Pouclet A., 1998. Phénomènes pseudo-karstiques et karstiques dans la couverture latéritique et le substratum plutono-métamorphique du Sud du Cameroun. Géoscience au Cameroun, Vicat J.P. et Bilong P. éd., collect. GEOCAM, 1/1998, Press. Univ. Yaoundé : 107-128.
- White W. B., 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford University Press : 98.
- Willems L, Vicat J.P. et Pouclet A., 2000. Karst dans les micaschistes d'Akok Bekoé - Sud Cameroun», Bull. Soc. Géogr. de Liège, 37, 1999/2 : 5-18.
- Willems L., Compere Ph. et Sponholz B., 1998a. Study of siliceous karst genesis in Eastern Niger. Microscopy and analysis of speleothems. Z. Geomorph. N.F.- Berlin - Stuttgart, 42/2 : 129-142.
- Willems L., Compere Ph., Sponholz B. et Vicat J.P., 1998b. Spéléothèmes des karsts siliceux du Niger et du Cameroun. Géosciences au Cameroun, Vicat J.P. et Bilong éd., collect. GEOCAM 1/1998, Press. Univ. Yaoundé: 128-138.
- Willems L., Pouclet A. et Vicat J.P., 1997, Karst non carbonaté au Cameroun méridional. L'exemple des grottes de Mfoula, Warzburger Geograph. Arb., 89, Warzburg, 14 p.
- Willems L., Pouclet A., Lenoir F. et Vicat J.P., 1996, Phénomènes karstiques en milieux non-carbonatés. Etudes de cavités et problématique de leur développement au Niger Occidental. Z. Geomorph. N.F. Berlin, Stuttgart, Suppl.-Bd 103: 193-214.
- Wray R.A.L., 1997. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. Earth-Sc. Rev. 42, 137-160.
-

Etude fine des fluctuations des niveaux d'eau dans quelques système karstiques belges : premiers résultats

Philippe MEUS

rue de la Chapelle 43, 4550 Nandrin
philippe.meus@swing.be

Résumé

Une étude détaillée des variations de niveau d'eau dans les circulations karstiques ainsi que les comparaisons avec d'autres paramètres comme la température, la conductivité et la pression atmosphérique, fourni des informations sur la cause de ces variations et les relations avec, entre autres, les marées terrestres.

Abstract

A detailed study of the water level variations in karstic circulations, as well as a comparison with other parameters such as temperature, conductivity and atmospheric pressure, provide information on possible causes for these variations and on the possible relation with earth tides.

Mots clefs

Hydrologie karstique - Niveau d'eau.

Keywords

Karst hydrology - Water level variation.

1. Introduction et objectifs

La mesure des variations périodiques du niveau des nappes d'eau souterraine est utilisée depuis longtemps afin d'étudier les effets des marées terrestres et des variations diurnes de pression atmosphérique sur les aquifères (Marsaud et Mangin, 1993, Tacher et al., 1993). Ces effets ne sont cependant pas facilement mesurables, et n'ont par conséquent en général été étudiés, que dans des aquifères profonds et captifs. L'amplitude des variations observées permet en théorie de calculer le coefficient d'emménagement du milieu. Dans la pratique cependant, d'autres phénomènes, notamment l'anisotropie et l'hétérogénéité de l'aquifère, interviennent et on doit alors plutôt recourir à une approche plus dynamique du phénomène, basée sur l'étude dans le temps de la réponse du système aquifère aux ondes de marées et aux variations barométriques.

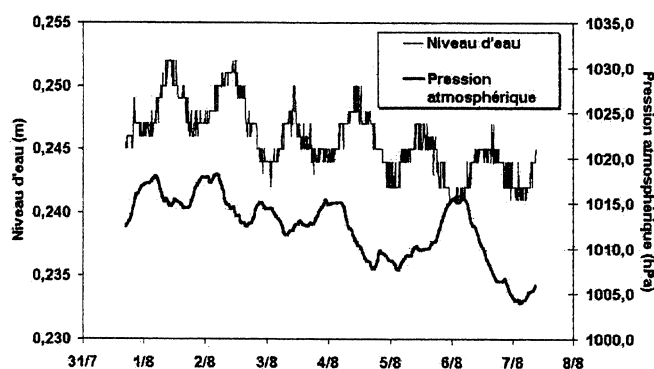


Figure 1: Variations du niveau d'eau du Rubicon durant la première semaine du mois d'août 1999 comparées aux variations de pression atmosphérique enregistrées à la station IRM de Elsenborn.

Depuis quelques années, c'est ce même principe d'approche dynamique qui est utilisé afin de comprendre comment varient les différents paramètres environnementaux dans le karst. C'est le cas entre autres en ce qui concerne les mesures de débit des concrétions dans l'étude de l'infiltration et de la croissance des spéléothèmes (Destombes et al., 1997), mais aussi en ce qui concerne les paramètres climatologiques (température, pression, CO_2 , ...) de l'air des grottes dans l'étude de la stabilité des oeuvres pariétales.

Grâce au développement d'outils de mesures hydrogéologiques de plus en plus performants, il était aussi intéressant de se pencher plus en détail sur le régime des circulations karstiques, rivières ou nappes, afin d'y rechercher des réponses aux fluctuations extérieures et ainsi mieux comprendre comment le système transforme ces signaux en fonction de ses caractéristiques propres. L'étude de ces transformations étant particulièrement délicate, nous nous sommes ici contentés d'identifier différents effets et, dans un premier temps, de tenter de les associer à des causes connues. Une sonde multiparamètre à haute résolution (sonde MP Troll 8000 de In-Situ) a été placée successivement dans une série d'émergences et de rivières souterraines en différents endroits de Belgique. Cette sonde est capable de mesurer et de stocker un nombre quasi illimité de valeurs de niveau, de température, de conductivité, de pH et d'oxygène dissous de l'eau, et cela avec un pas de temps allant jusqu'à 3 secondes pour le niveau et la température.

Les données obtenues pour les différents sites ont été comparées entre elles, ainsi qu'entre les différents paramètres, et traitées par analyses corrélatoire et spectrale. Plusieurs exemples sont présentés ci-dessous, où l'accent est principalement mis sur les variations de niveau et leurs signatures spectrales.

2. Principes des analyses corrélatoire et spectrale

Les analyses corrélatoire et spectrale (Mangin, 1984) ont été choisies en tant qu'outil statistique permettant de décrire la complexité des chroniques obtenues, afin de pouvoir le cas échéant supputer le fonctionnement du système. Par ces méthodes,

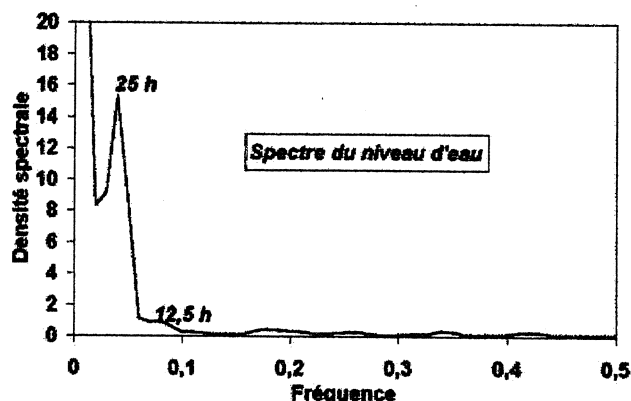


Figure 2 : Spectre de densité de variance du niveau d'eau du Rubicon (première semaine du mois d'août 1999).

on cherche habituellement à extraire du signal, soit sa tendance, soit ses composantes périodiques, soit ses composantes aléatoires. Deux types de traitement sont ici utilisés de façon complémentaire: le spectre de densité de variance et le corrélogramme croisé. Le premier représente la décomposition de la variance totale de la chronique dans le domaine des fréquences. Il est en quelque sorte la signature de la chronique dans un domaine fréquentiel donné, appelé fenêtre, dépendant de la troncature (en d'autres termes la "longueur" de la corrélation) et du pas de calcul utilisé. Les chroniques présentées ici ne couvrant pas des périodes assez longues pour étudier des phénomènes saisonniers ni même souvent météorologiques, on travaille essentiellement sur le court terme (gamme des hautes fréquences) en recherchant les phénomènes périodiques ou aléatoires. Le spectre permet ainsi d'identifier la signature de phénomènes particuliers tels que les marées barométriques ou les marées terrestres.

Les spectres des chroniques enregistrées sur les différents systèmes peuvent être comparés entre eux ainsi qu'avec les spectres de phénomènes qui sont supposés être la cause des variations. Afin d'éliminer l'influence de la tendance, et ainsi mieux mettre en évidence des phénomènes périodiques, il a dans certains cas été utile d'effectuer préalablement une différenciation de la chronique avant de calculer le spectre.

Le corrélogramme croisé est quant à lui basé sur la corrélation dans le temps entre deux paramètres distincts, l'un étant défini a priori comme l'entrée et l'autre comme la sortie du système. Il permet de préciser les relations de cause à effet entre différents signaux. Dans le cas de l'identification de composantes périodiques communes, il permet de déterminer la manière dont le signal source est modulé par le système. Le sens de la relation, c'est-à-dire l'identification de la cause et de l'effet, est déduit de la position des valeurs élevées de la corrélation (ou des valeurs négatives de l'anticorrélation). Une forte corrélation vers les abscisses positives indique que le signal d'entrée est bien la cause. L'inverse indique que c'est plutôt le second signal qui est la cause. Si le corrélogramme est symétrique par rapport à l'origine, les deux signaux peuvent varier corrélativement mais aucun des signaux n'est réellement la cause de l'autre. Ils ont plutôt dans ce cas une cause commune.

3. Exemple du Rubicon

Le Rubicon est le nom donné à la rivière souterraine qui traverse la grotte de Remouchamps. Ses eaux constituent l'exutoire du système dit «du vallon des chantoires», entre Louveigné et Remouchamps.

La figure 1 montre les variations du niveau d'eau du Rubicon à la sortie du premier siphon de la grotte durant la première semaine du mois d'août 1999 comparées aux variations de pression atmosphérique enregistrées à la station IRM de Elsenborn pour la même période. Pour les niveaux, le pas de mesure est de 10 minutes tandis que les données de pression sont fournies avec un pas horaire. On note des fluctuations périodiques journalières du niveau d'eau, d'amplitude moyenne de 0,5 cm. Des observations à plus long terme montrent que ces fluctuations se marquent particulièrement pendant les périodes de récession (c'est-à-dire des périodes sans précipitation). Elles avaient d'ailleurs déjà été mises en évidence lors d'enregistrements au limnigraphe mécanique au début des années 90 (Meus, 1993). On les identifie aussi aisément sur le signal de la pression. Le spectre des niveaux (fig. 2) confirme les fluctuations journalières et montre en plus une composante semi-diurne nettement moins prononcée. Cette signature est typique d'une influence barométrique. Le corrélogramme croisé (fig. 3) confirme l'influence de la pression et montre un déphasage de la réponse du système d'environ 8 heures. Ces observations nous amènent à penser que très probablement l'infiltration est le moteur de ces variations de débit.

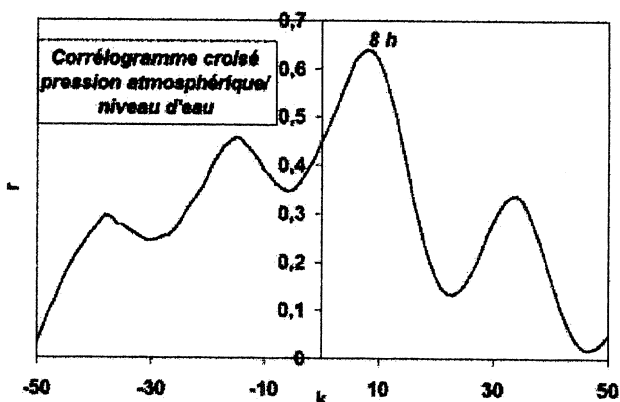


Figure 3 : Corrélogramme croisé entre la pression atmosphérique et le niveau d'eau du Rubicon (première semaine du mois d'août 1999).

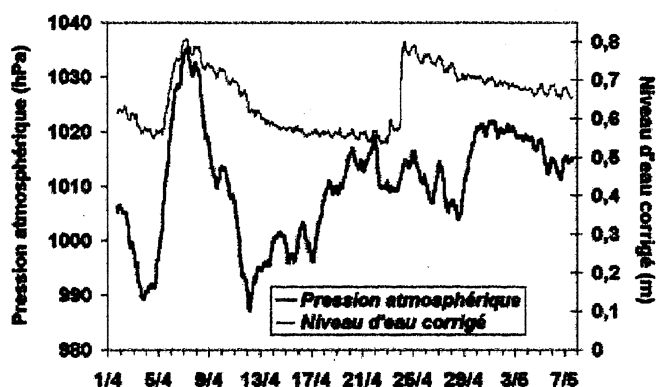


Figure 4 : Variations du niveau d'eau du Rubicon du 1er avril au 7 mai 2000 comparées aux variations de pression atmosphérique enregistrées à la station IRM de Elsenborn.

La figure 4 montre l'enregistrement du niveau d'eau dans le Rubicon durant la période du 1/4/2000 au 7/5/2000, avec un pas de 1 heure. La plus grande longueur de la chronique permet ici une meilleure appréciation statistique des phénomènes en jeu. Le signal du niveau d'eau a dû être corrigé en fonction des fluctuations de pression atmosphérique en raison d'un positionnement inadéquat de la sonde. La plupart des périodicités mises en évidence dans le spectre de la pression atmosphérique se retrouvent intégralement dans celui du niveau d'eau corrigé (fig. 5). Le corrélogramme (fig. 6) montre

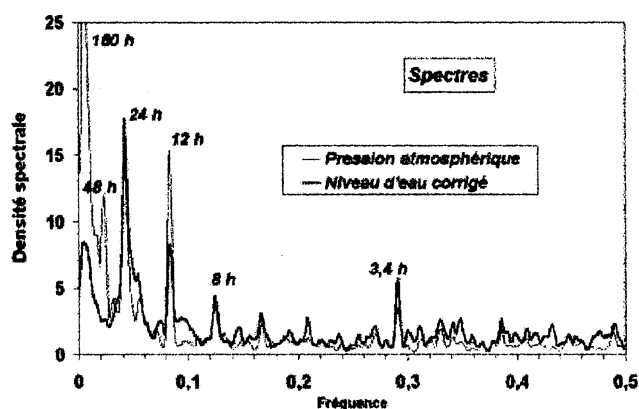


Figure 5 : Périodicités mises en évidence dans le spectre de la pression atmosphérique et du niveau d'eau corrigé du rubicon.

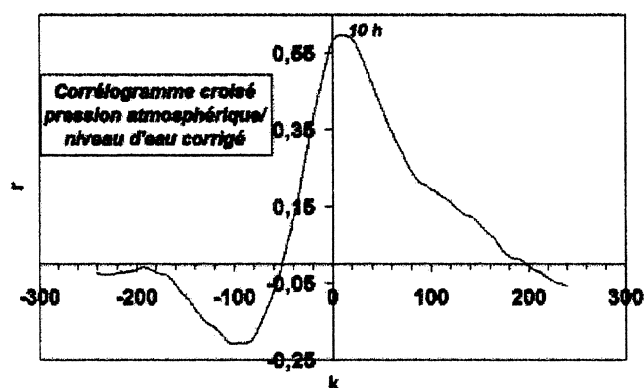


Figure 6 : Corrélogramme entre la pression atmosphérique et le niveau d'eau corrigé du Rubicon.

cette fois un déphasage de l'ordre de 10 heures entre les variations de débit de la rivière et celles de la pression atmosphérique.

4. Exemple des captages de Néblon-le-Moulin

L'enregistrement durant une quinzaine de jours (du 27/7/2000 au 10/8/2000, pas = 15 min) des différents paramètres de l'eau dans l'une des galeries de captage (galerie Communale) de la CILE à

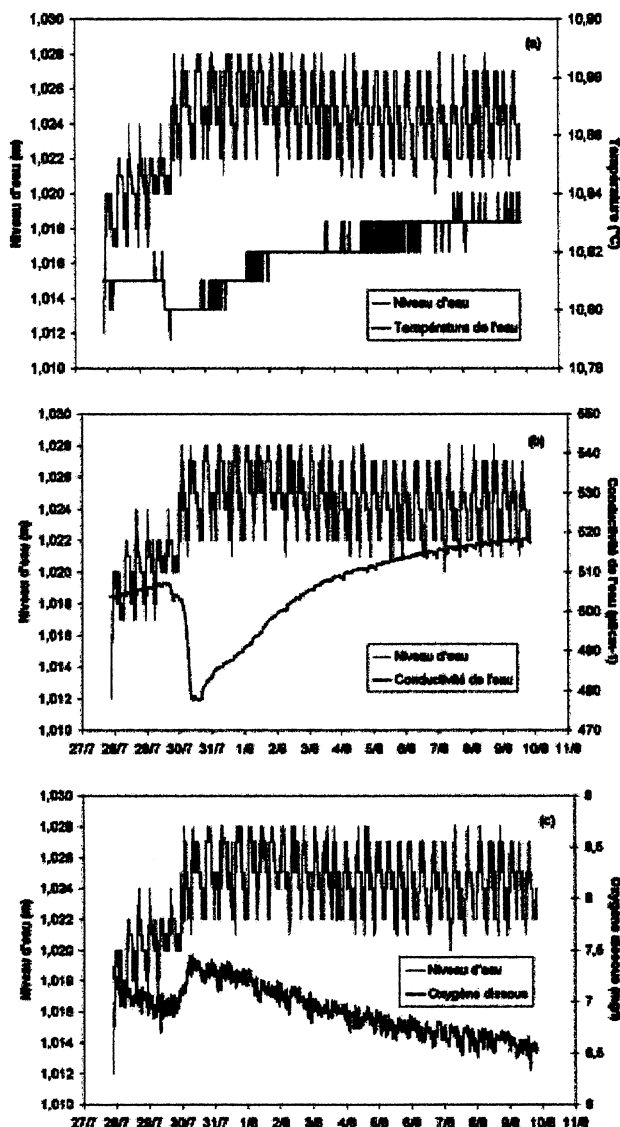


Figure 7 : Captage de la CILE à Néblon-le-Moulin. Variation du niveau d'eau et variation de la température (A), de la conductivité (B) et de l'oxygène dissous (C).

Néblon-le-Moulin permet de mieux comprendre la sensibilité des venues d'eau aux facteurs extérieurs. Sur la figure 7, sont reprises les variations du niveau d'eau et celles, respectivement, de la température (A), de la conductivité (B) et de l'oxygène dissous (C). La grande sensibilité de la sonde permet de mettre en évidence la réaction des différents paramètres à une légère crue : baisse de la température (quelques centièmes de °C à peine), chute de la conductivité, et apport d'oxygène par

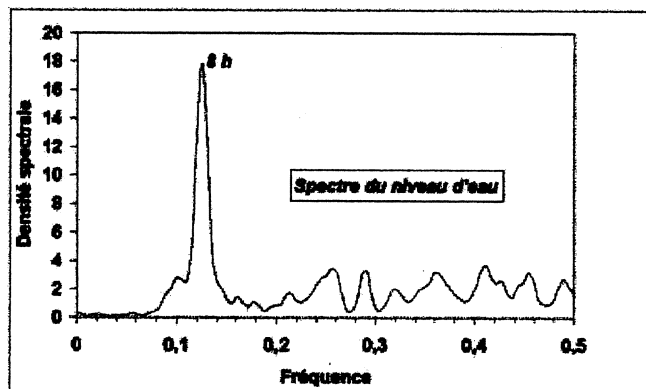


Figure 8 : Spectre du niveau d'eau dans le captage de la CILE à Néblon-le-Moulin.

les eaux fraîchement infiltrées. Hormis ces tendances, le spectre des niveaux (fig. 8) montre une périodicité de 8 heures. Or la galerie de captage se trouve à quelques mètres à peine en rive droite de la rivière Néblon et son bassin d'alimentation, partiellement déduit des tracages, se trouve essentiellement en rive gauche du cours d'eau. En d'autres termes, les venues d'eau sont quasi d'origine sous-fluviale. Des rejets réguliers sont effectués dans la rivière depuis une autre galerie située en amont. La composante de 8 heures pourrait dès lors être l'indication d'une influence non négligeable de la rivière sur la galerie Communale.

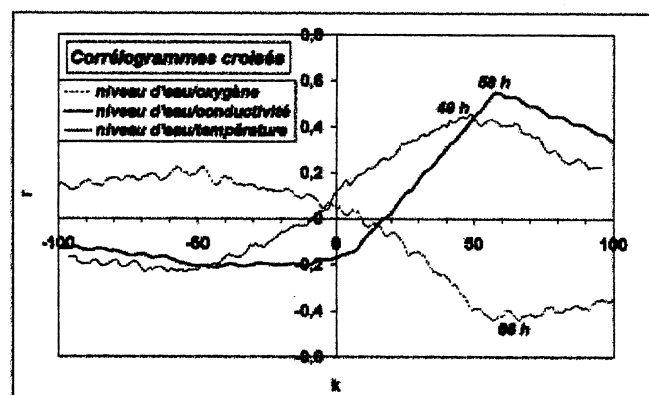


Figure 9 : Corrélogramme croisés des différents paramètres mesurés lors des crues au captage de la CILE à Néblon-le-Moulin

Quant aux réponses à la crue, les corrélogrammes croisés (fig. 9) pourraient laisser croire à un déphasage de l'ordre de 2 à 2,5 jours entre les variations de niveau et celles des paramètres physico-chimiques, ce qui par ailleurs correspond au temps de passage des traceurs artificiels (Meus, 1993). La corrélation est cependant positive pour la température et la conductivité et est négative pour l'oxygène, ce qui est en contradiction avec l'examen des courbes réalisé précédemment (fig. 7). Un examen plus minutieux de ces courbes montre en effet que l'augmentation du niveau, la baisse de température et de conductivité, ainsi que l'augmentation d'oxygène, sont quasi simultanées. Les pics sont alors très probablement dus à l'existence fortuite d'une corrélation entre d'une part le niveau bas de l'eau avant la crue, et d'autre part la température et la conductivité basses, ainsi que l'oxygène plus élevé durant la crue. Ceci montre claire-

ment que l'interprétation seule de corrélogrammes calculés sur un nombre trop restreint d'événements hydrologiques peut conduire à de sévères erreurs d'interprétation quant au fonctionnement du système.

5. Comparaison des spectres

Le dernier graphique (fig. 10) montre la diversité des spectres obtenus à partir des chroniques de niveau d'eau dans différents contextes de circulation ou d'émergence dans les calcaires. Les eaux du captage du lac de Bambois (émergence dévonienne captée sous les alluvions du lac) montrent de toute évidence un caractère captif. Une influence double des marées terrestres et de la pression atmosphérique n'est dans ce cas pas à exclure. Le spectre des niveaux dans la rivière souterraine de la grotte de Hotton est peu représentatif car l'enregistrement est de trop courte durée vis-à-vis des phénomènes étudiés. A la Merveilleuse (nappe d'eau au fond de la cavité), les fréquences les plus marquées ne sont pas celles liées à la pression, ni à la marée. Elles pourraient être en liaison avec des variations du niveau de la Meuse

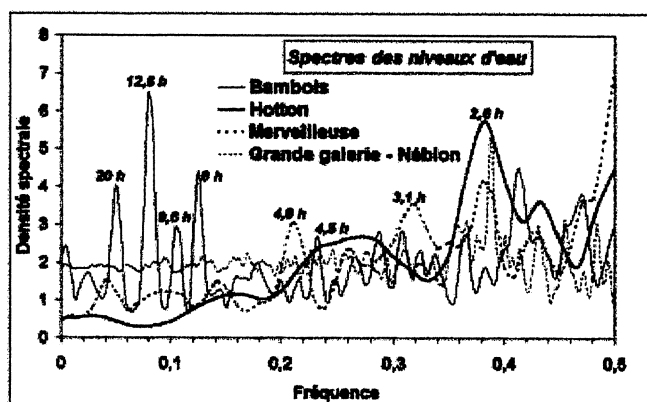


Figure 10 : Spectres divers obtenus à partir des chroniques de niveau d'eau dans différents contextes de circulation ou d'émergence dans les calcaires.

toute proche. Quant au signal de la Grande galerie du Néblon, mis à part un bruit de fond aléatoire important, la seule fréquence notable, la même d'ailleurs que l'on retrouve dans le cas de la Merveilleuse et de Hotton, est une assez haute fréquence de 2,6 heures.

6. Conclusion

Des enregistrements ultérieurs plus longs, ainsi que la confrontation avec d'autres paramètres, devraient permettre de progresser dans l'interprétation de tous ces phénomènes périodiques jusqu'ici peu étudiés faute d'instruments assez précis.

7. Remerciements

Je remercie ici tout particulièrement la société EGS (European Geophysical Services) et la société In-Situ pour la mise à disposition de la sonde multiparamètre Troll 8000 utilisée lors des campagnes de mesures, la CILE et l'INASEP pour m'avoir permis en toute confiance d'accéder à leurs captages, ainsi que les Grottes de Remouchamps, de Hotton et de la Merveilleuse pour m'avoir également laissé l'accès à leurs cavités. Mes remerciements vont aussi à tous ceux et celles, principalement mon épouse

Barbara, et les membres de Continent 7, qui m'ont aidé dans la mise en place de la sonde dans des situations pas toujours commodes. Enfin, ce travail t'est personnellement dédié, Olivier Demarets, spéléologue, toi qui a toujours aussi voulu faire parler les pierres et les rivières souterraines.

8. Bibliographie

Marsaud B., Mangin A. et Bel F., 1993. Estimation des caractéristiques physiques d'aquifères profonds à partir de l'incidence barométrique et des marées terrestres. *Journal of Hydrology*, 144 (1993) : 85-100.

Meus Ph., 1993. Hydrogéologie d'un aquifère karstique dans les calcaires carbonifères (Néblon-Anthisnes, Belgique). Apport des traçages à la connaissance des milieux fissurés et karstiques. Thèse de doctorat, Université de Liège, 323 p.

Tacher L., Rouiller J.D. et Zwahlen F., 1993. Marées terrestres dans l'aquifère captif du massif cristallin des Aiguilles Rouges, région de Lavey-les-Bains, Suisse. *Bulletin du Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*, n°12 (1993) : 59-69.

Destombes J.L., Cordonnier M., Gadat J.Y. et Delannoy J.J., 1997. Periodic and aperiodic forcing of water through sodastraw stalactites (Choranche, Vercors, France). *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology of the International Union of Speleology*, La Chaux-de-Fonds, Suisse, 10-17 août, 1997, vol.2 : 69-73.

Mangin A., 1984. Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, 67 (1984) : 25-43.