

Regards

N°63 Spéleo Info

Bulletin d'information bimestriel de la Société Spéléologique de Wallonie

BELGIQUE - BELGIE
RP
4000 LIEGE X
9/400

Bureau de dépôt : SÉRAING I
Mars - Avril 2006

Ghar el Melh Le karst du sel

- Réseau des Comblennois
- Qualité chimique et biologique des pertes et des résurgences du massif de Beauregard

Spéléroc

Peut vous protéger du froid !

*Nous serons à l'Assemblée Générale avec
une Tombola pour les clubs présents et
des ristournes pour tous les participants !*

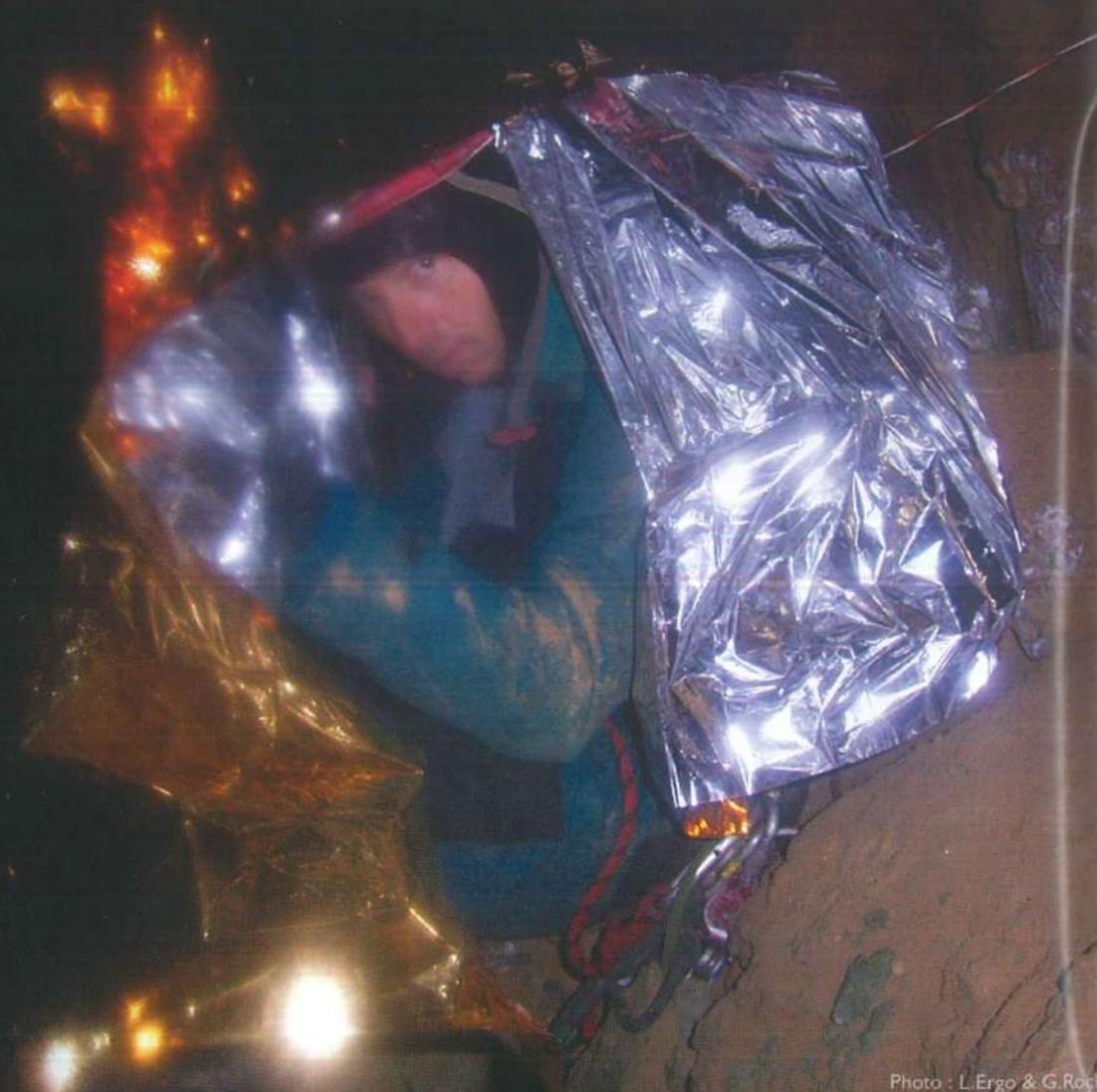


Photo : L.Ergo & G.Rocher

Grand choix :

- Combinaisons et sous combinaisons
- Gants Spéléo
- Bottes Spéléo
- Chaussons néoprène
- Couvertures de survie

Et bien plus encore ...

SpéléROC
Sport

Avenue Arthur Procès, 5
B-5000 Namur

Tel.: (+32) 081 23 00 09 - Fax: (+32) 081 22 57 98

Regards - Spéléo Info

Avenue Arthur Procès, 5
B-5000 Namur
Tél. : +32 (0)81 23 00 09
Fax: +32 (0)81 22 57 98

Editeur Responsable
Serge Delaby

Comité de Rédaction
P. Dumoulin, R. Grebeude, J.-C. London,
G. Rochez.

Relecture
I. Bonniver, N. Goffioul, M. Vandermeulen.

Documentation
Nathalie Goffioul

Graphisme et mise en page
Joëlle Stassart

Imprimeur et agent publicitaire
Press J - TVA: BE418.589.147
Rue de la Chapelle, 42 - 5000 Namur

Pour toute insertion publicitaire, contactez :
publication@speleo.be

Rédaction
Tous les articles doivent être envoyés
Avenue Arthur Procès, 5 B-5000 Namur
ou publication@speleo.be
Nos colonnes sont ouvertes à tout cor-
respondant belge ou étranger. Les articles
n'engagent que la responsabilité de leur
auteur.

Reproduction autorisée (sauf mention con-
traire) avec accord de l'auteur et mention de
la source: extrait de "Regards - Spéléo Info",
bulletin de la SSW n° ...

SSW
Compte : 001-2325996-12
BIC GEBABEBB
IBAN BE19 0012 3259 9612

E-mail: administration@speleo.be
finance@speleo.be
Web: http://www.speleo.be/ssw/

Echanges et abonnements

Bibliothèque
Avenue Arthur Procès, 5
B-5000 Namur
mail : bilbiotheque@speleo.be

Abonnement (5 numéros)
Belgique: 25€
Etranger: 32€
Prix au numéro
Belgique: 5€ port compris
Etranger: 7€ port compris

Echanges souhaités avec toute revue belge
ou étrangère d'intérêt commun qui en ferait
la demande.

SpéléoSecours : 04/257 66 00



Cette revue est publiée avec la collaboration de la Communauté
Française de Belgique et de la Région Wallonne (emploi)

Édito

L'action générale de la SSW est dirigée vers les jeunes.
Rien que cette petite phrase situe l'ampleur du défi face auquel l'association se
trouve quand on sait que la moyenne d'âge des pratiquants de la spéléologie
augmente sans cesse depuis une dizaine d'année...

Il est clair que, si notre cible était les plus de 50 ans, la croissance serait assurée sans effort!

En dehors de l'organisation administrative du mouvement reposant sur une sérieuse équipe
professionnelle, le concret directement visible, l'ordinaire oserais-je dire, est la tenue du service
documentation, du service découverte du milieu souterrain et de la centrale d'achat.

Quelques points plus particuliers avaient été mis en avant pour 2005 et ont été largement
rencontrés.

D'abord, réussir la centralisation coordonnée avec d'autres associations au sein de la Maison
de la Spéléologie à Namur.

Cela s'est concrétisé pour la SSW suivant trois axes.

1. Participer à l'aménagement des locaux de la façon la plus accueillante possible et démontrer
que, même si nous sommes des taupes, nous pouvons être ouverts vers toutes et tous.
2. Installer au mieux la bibliothèque pour en favoriser le fonctionnement et la fréquentation.
L'espace nécessaire pour le développement futur est aussi assuré, car au-delà de l'immédiat,
on veut apporter les meilleures garanties de conservation, de gestion et de mise à disposition
du public spécialisé, à l'attention de tous ceux qui souhaitent un tel avenir à des documents
de toutes natures qu'ils auraient patiemment réunis.
3. Installer confortablement la centrale d'achat et dynamiser la vente du matériel spécifique à
notre activité qui est d'autant plus clairsemé dans le commerce classique que le nombre de
clients potentiels est limité.

Ensuite, achever le renouvellement de l'équipe professionnelle.

Qui dit renouvellement, dit période d'adaptation et formation...

Nathalie est déjà bien installée dans sa fonction et Déborah nous a rejoint en toute fin
d'année.

Elles sont motivées et forment avec les anciennes et anciens un solide team (rajeuni...) à notre
service.

Parallèlement, l'activité des bénévoles qui travaillent régulièrement dans la maison ou sur le
terrain doit aussi être soulignée.

Enfin, nous développons autant que possible le service découverte du milieu souterrain qui est
notre meilleur moyen d'attraction des jeunes.

Nous espérons en effet en attirer un maximum vers une pratique régulière de la spéléologie
en répondant à toutes les demandes d'encadrement, en proposant parallèlement nos services
de façon ciblée, en apportant dès les premiers contacts un maximum d'informations, en
garantissant un premier encadrement de qualité, en montrant la pluridisciplinarité de cette
activité extraordinaire...

Gérald Fanuel, président

Sommaire

4 - Réseau des Comblennois - Système Chawresse-Véronika
(G.R.S.C.)

**6 - Qualité chimique et biologique des pertes et des
résurgences du massif de Beauregard** (M. Dethier - J.
Schoonbroodt)

14 - Lu pour vous

15 - Infos du fond

17 - Ghar el Melh - Le karst du sel (Maroc) (A. Dubois)

Photo de couverture : Parcours Spéléo Barchon

7^{ème} édition du Parcours Spéléo de Barchon les 10-11-12 mars
2006 - Organisation Squad. (Voir SpéléoInfo 175, p14)

Ici, le départ E : parcours mixte spéléo classique et technique de
cordes

Cliché : Didier Sauvage





Réseau des Comblennois Système Chawresse-Véronika)

Mise à jour par Pol Xhaard
Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain au Pont (GRSC)

Le G.R.S.C. commençait la série de découvertes qui allaient livrer le « réseau des Comblennois », le 27 novembre 1983, au départ de l'extrémité occidentale du réseau Persephone. La jonction avec la grotte Véronika était réalisée le 20 mai 1984. A partir de cette date et jusqu'au 1^{er} janvier 1986, les recherches et désobstructions nous amenèrent à découvrir le « réseau de l'angle droit » (+ « la salle oubliée », au départ de la tranchée du grand puits). Entre 1986 et 1991, nos efforts se concentraient sur la 7^{ème} tranchée. Nous avons « jeté l'éponge » au moment où nous avons manqué d'espace pour le rangement des déblais. Avec regret, car nous entendions un bruit d'eau. La possibilité existait (elle existe encore !) de remonter les déblais bien loin, mais l'époque « héroïque » était passée...

La dernière topo du réseau des Comblennois a été publiée en 1986, avec le point bas de la 7^{ème} tranchée à -54 mètres.

En fin 2003, souffrant d'un manque aigu de la Chawresse, nous avons repris des travaux au fond de la 11^{ème} tranchée; et très vite, nous découvrons un puits de 10 mètres.

La présente mise au point tient compte de ces deux ajouts : le fond de la 7^{ème} tranchée, inchangé depuis 1991, mais qui était resté non topographié donc non publié, et le fond de la 11^{ème} tranchée, découvert le 7 décembre 2003.

N.B. : le réseau de l'angle droit fait partie du réseau des Comblennois.

Pour plus de détails, nous invitons le lecteur à consulter les deux publications :

- « Réseau des Comblennois (Abîme de la Chawresse) », Clair-Obscur n°40, 1984, pp.1-6
- « Le point sur : Le réseau des Comblennois », UBS Info n°7, 1986, pp. 5-7

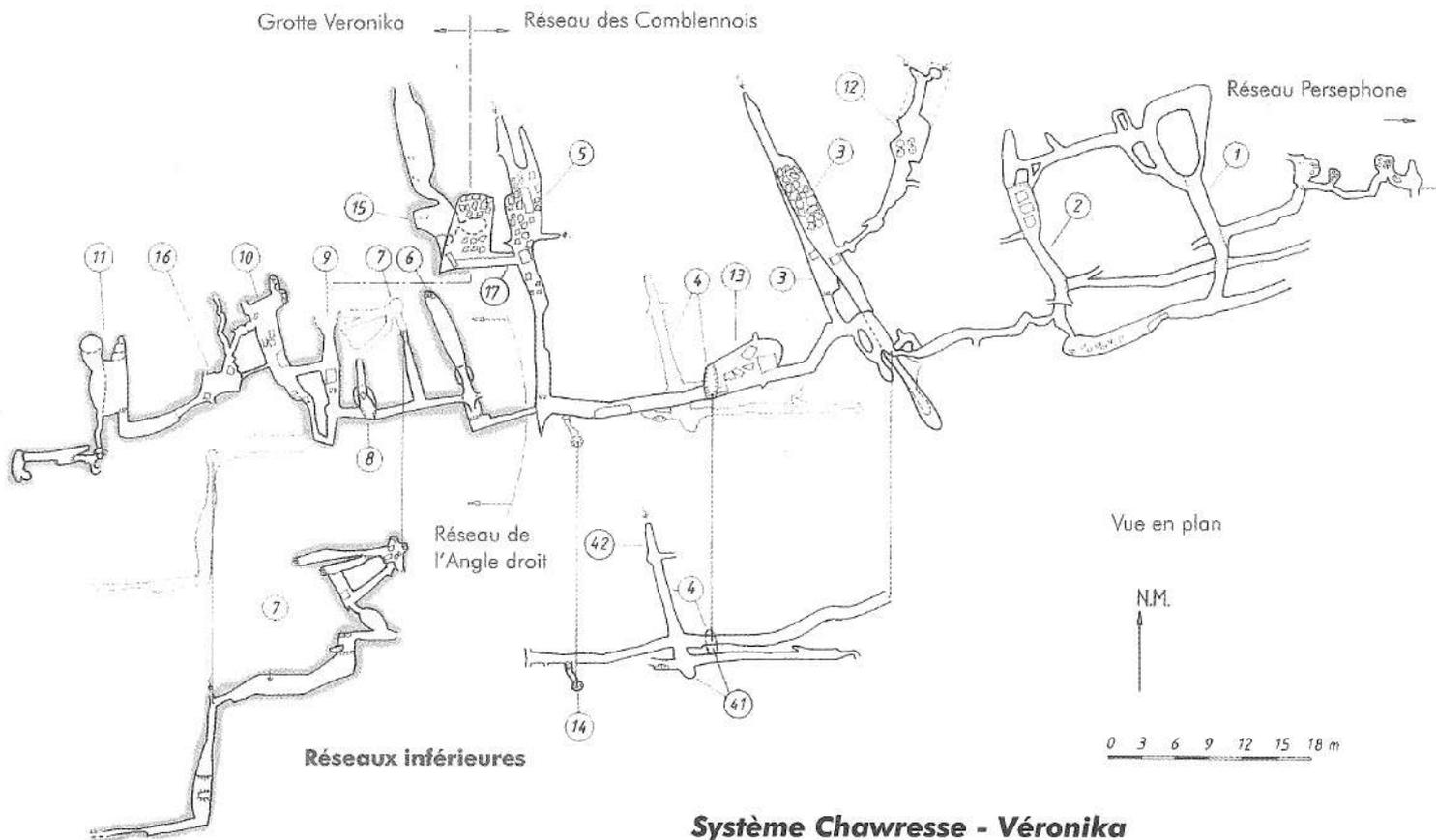
Légende se rapportant aux vues en plan et en coupe

Nous avons pris l'habitude d'appeler « tranchées » les diaclases du réseau des Comblennois, et de les numéroter d'Est en Ouest.

- 1 : 1^{ère} tranchée, ou tranchée de l'astragale (Fernand Squelin avait chuté, et s'était cassé l'astragale)
- 2 : 2^{ème} tranchée, ou tranchée des trois faux-planchers
- 3 : 3^{ème} tranchée, ou tranchée du grand puits. C'est une tranchée en « V » avec une branche côté S-E, et l'autre branche côté N-O qui monte plus haut
- 4 : 4^{ème} tranchée, tranchée en « V » avec une branche côté S-E baptisée : cheminée Daniel, et l'autre branche côté N-O baptisée : cheminée Jean-Claude qui monte moins haut. La cheminée Daniel s'ouvre dans la salle Hélène.
- 41 : la cheminée Daniel
- 42 : la cheminée Jean-Claude
- 5 : 5^{ème} tranchée, ou tranchée de l'Apocalypse. La jonction du nain possible s'ouvre à son pied.
- 6 : 6^{ème} tranchée
- 7 : 7^{ème} tranchée
- 8 : 8^{ème} tranchée
- 9 : 9^{ème} tranchée
- 10 : 10^{ème} tranchée
- 11 : 11^{ème} tranchée
- 12 : la salle oubliée
- 13 : la salle Hélène
- 14 : le puits glaiseux
- 15 : la salle de la cascabelle (dans Véronika)
- 16 : la salle en cloche
- 17 : la jonction du nain possible (vers la grotte Véronika)

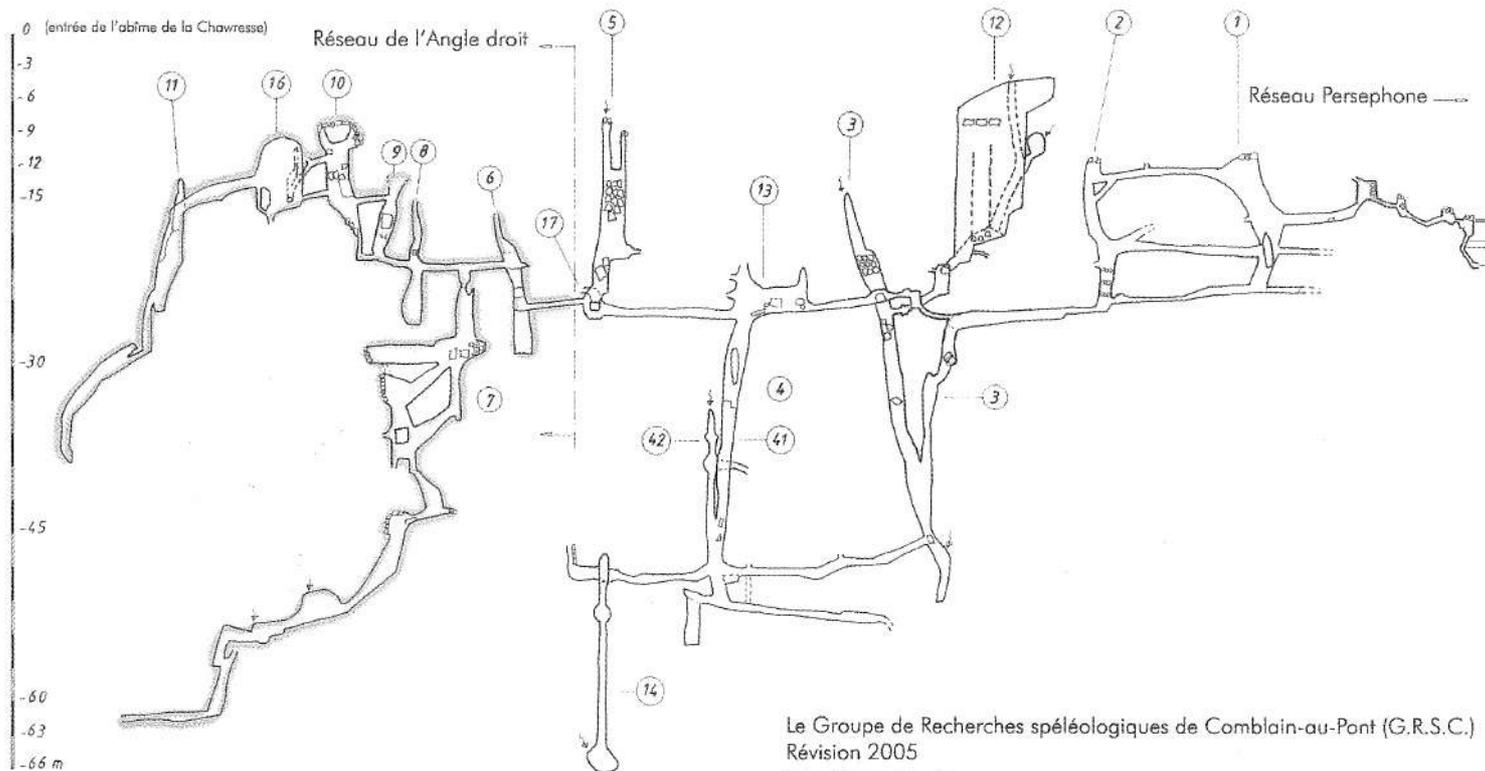
Adaptation des données spéléométriques

	réseau de l'angle droit	réseau des Comblennois
Profondeur maximale (par rapp. à l'entrée de l'abîme de la Chawresse)	-62 (antérieurement: -54)	-68
Développement 3D	255 (antérieurement: -212)	709 (antérieurement: 666)



Système Chawresse - Véronika
Réseau des Comblennois

Vue en coupe projetée - AZ = 85 grades



Le Groupe de Recherches spéléologiques de Comblain-au-Pont (G.R.S.C.)
Révision 2005
<http://www.grsc.be>



Qualité chimique et biologique des pertes et des résurgences du massif de Bearegard (Province de Liège)

Michel DETHIER (Chercheurs de la Wallonie - CRSOA)
José SCHOONBROODT (GRSC)

Communication présentée à la Journée de Spéléologie Scientifique de Han s/Lesse 2005

Situation générale et description sommaire des stations

Le massif (et vallon) de Bearegard est situé entre Plainevaux et Tilff, sur la rive gauche de l'Ourthe, dans laquelle il débouche à Monceau. Long d'environ 2,5 km, son orientation générale est OSO-ENE et il est bordé au sud et à l'est par l'Ourthe (méandres de Ham et de Hony-Méry). Il constitue une partie de la bordure septentrionale du synclinorium de Dinant (calcaires givétiens et frasniens). Sur son sommet, on trouve des dépôts de sables tertiaires.

Les ruisseaux qui le parcourent disparaissent dans des pertes, pour réapparaître aux résurgences situées au pied des parois calcaires de la Roche-aux-Faucons et de Monceau. Divers traçages récents (Xhaard, 2005) ont permis de mettre partiellement en évidence les connexions, parfois complexes, de ce réseau hydrologique.

Dans ce travail, nous nous sommes attachés à l'analyse de quelques paramètres chimiques et à l'étude des macroinvertébrés benthiques. Les pertes considérées ici sont celles de Plainevaux, de la Croisette, de la Triple Douve, des Eaux Sauvages et de la Famelette et les résurgences sont celles de la Magrée, de la Roche-aux-Faucons (orientale et occidentale), du tuf de Monceau et de la grotte Monceau (étage inférieur). La figure 1 situe nos stations.

On trouvera dans Van den Broeck & al. (1910), Bay (1968), Briffoz (1998), Haesen (2001), Schoonbroodt & Guidice (1998), Schoonbroodt (2001) et Xhaard (2005) des descriptions détaillées du site, ainsi que des phénomènes hydrogéologiques qui s'y déroulent. La boucle de l'Ourthe à la Roche-aux-Faucons est un site classé.

Résumé

Des analyses chimiques et biologiques ont été effectuées dans les principales pertes et résurgences du massif de Bearegard, ce qui a permis d'en déterminer la qualité des eaux.

Mots-clés : qualité des eaux, pertes, résurgences.

Summary

Chemical and biological analyses were performed to measure water quality of the waters of Bearegard Massif.

Key words : water quality, swallow holes, karstic springs.

Introduction

Le massif (et vallon) de Bearegard est bien connu des spéléologues en raison de la grotte Monceau qu'il abrite. Depuis maintenant plus de dix ans, le GRSC (Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain) y poursuit des recherches hydrogéologiques et spéléologiques. De nombreux traçages y ont déjà été effectués et, en 2005, une nouvelle campagne, avec des moyens techniques importants, a permis de bien comprendre les relations entre les pertes et les résurgences qui ponctuent le massif. Parallèlement, des analyses chimiques et des campagnes de récolte de la faune aquatique ont mis en évidence la qualité des eaux et l'état de la faune souterraine. Les résultats de ces analyses font l'objet du présent article.

Pertes

P1 : chantoire de Plainevaux, à hauteur du n° 7a, rue du Ruisseau, à Plainevaux (commune de Neupré, province de Liège, coordonnées Lambert 231.675/137.350, altitude 190 m). En amont de la chantoire, le ruisseau, dont le débit peut dépasser 1/4 de mètre cube à la seconde, coule sur un lit de cailloux et de blocs couverts d'algues filamenteuses. Il traverse l'agglomération et est fortement pollué par les eaux usées ménagères.

P2 : Douche de la Croisette. Cette chantoire est située derrière le nouveau cimetière de Plainevaux, dans un bois de feuillus. Elle rassemble les eaux de deux ou trois petits rus de faible débit (à sec lors de la campagne de septembre, v. plus loin), coulant sur un lit de cailloux (232.770/138.264 ; 220 m).

P3 : Triple Douve (figure 2). Deux ruisseaux confluent avant de s'enfoncer sous terre. Ils traversent des bois de feuillus et des prés et coulent lentement sur un lit de gravier,

par endroit fortement envasé (233.348/138.539 ; 201 m).

P4 : Douve des Eaux Sauvages. Le ruisseau coule parallèlement à la route, dans un cordon boisé avec, sur la rive gauche, des pâturages. Le lit est composé de graviers, de cailloux et de blocs garnis d'algues filamenteuses. Le ruisseau était à sec lors de la campagne de septembre (234.116/138.688 ; 175 m).

P5 : chantoire de la Famelette (douve n° 5). Située dans le bois de Nomont, en contrebas de la ferme de la Famelette, cette chantoire fait partie d'un ensemble de plusieurs pertes. Le lit est encombré de feuilles mortes et le débit est très faible (à sec en septembre) (234.672/139.015 ; 185 m).

Résurgences

R1 : résurgences de la Magrée à Esneux. Sur la rive gauche de l'Ourthe, au lieu-dit « sentier de Rosière », 4 ou 5 résurgences

Figure 2 : Perte de la Triple Douve (photo J. Schoonbroodt, mars 2005)

Figure 3 : Résurgence occidentale de la Roche-aux-Faucons ou résurgence de Rosière (photo M. Dethier, octobre 2005)

apparaissent et se jettent dans la rivière. Elles proviennent de pertes du ru Fond Martin ou ruisseau de la Magrée (principales pertes connues de Baugnée et des Chasseurs) situées entre 3 et 6 km en amont. En novembre 2002, la circulation des eaux souterraines sur cet axe a entraîné un effondrement karstique spectaculaire à Amostrennes (commune d'Esneux), sur le plateau dominant l'Ourthe (Meus, 2003). Ces résurgences ne font pas partie, à proprement parler, du massif de Beauregard, mais nous les avons reprises dans cette étude car en 2000, nous y avons déjà récolté des espèces intéressantes (Dethier & Hubart, 2001). Nous avons échantillonné les trois dernières résurgences soit, d'amont en aval, R1a, R1b et R1c (234.000/136.675 ; 90 m).

R2 : résurgence occidentale de la Roche-aux-Faucons (dite de la résurgence de Rosière, figure 3). L'eau sort au niveau de l'Ourthe, en rive gauche, de la grotte, cavité dont le développement a été récemment porté à 105 m par le GRSC (2004). Au bout d'une vingtaine de mètres, le ruisseau rejoint la rivière. Son lit est constitué de cailloux et de blocs (233.460/138.170 ; 95 m).

R3 : résurgence orientale de la Roche-aux-Faucons (dite de Fêchereux). L'eau sort au sommet d'un éboulis (cailloux et blocs) qu'elle dévale sur une cinquantaine de mètres avant de rejoindre l'Ourthe (233.780/138.476 ; 115 m).

R4 : résurgence du tuf de Monceau. A environ 50 m à gauche du porche d'entrée de la grotte Monceau, un filet d'eau s'écoule de la paroi calcaire, puis dévale celle-ci sur quelques mètres avant d'être canalisée en souterrain et de rejoindre l'Ourthe (235.420/139.164 ; 90 m).

R5 : le réseau inférieur de la grotte Monceau, qui n'a pas encore pu être pénétré, est toujours actif. Dans la cavité, à environ 30 m de l'entrée, un regard permet

d'accéder à l'eau. Nous avons néanmoins effectué nos prélèvements via un puits situé entre la grotte et la voie ferrée (235.420/139.234 ; 80 m).

Connexions

Les traçages de Schoonbroodt (2001) et de Xhaard (2005) ont permis d'établir sans ambiguïté les connexions suivantes (comme le montre la fig. 1) :

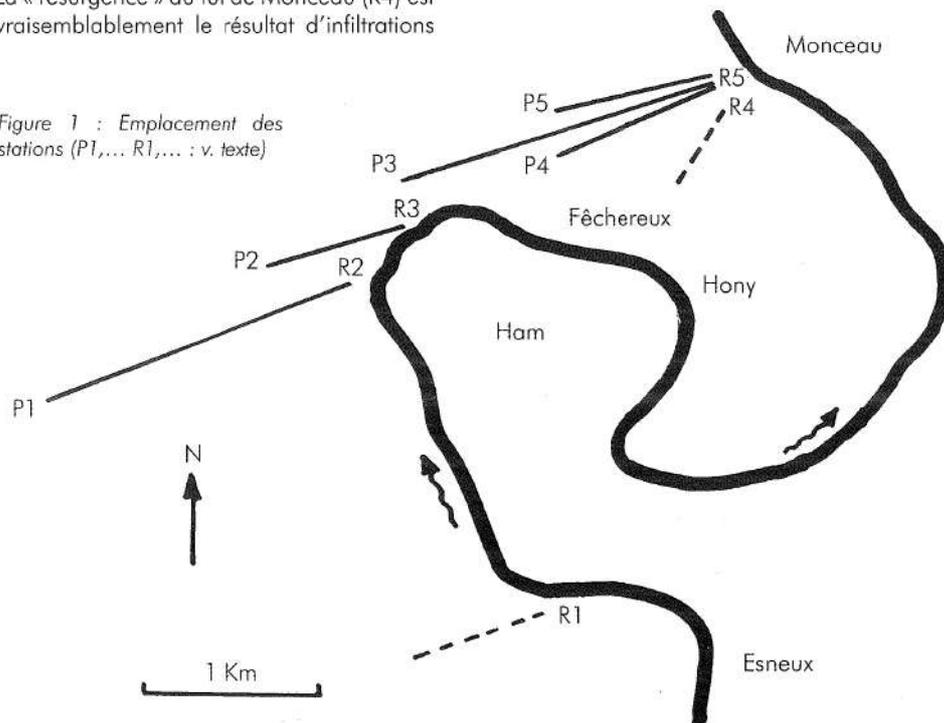
- Les eaux de la Triple Douve (P3), des Eaux Sauvages (P4) et de la chantoire de la Famelette (P5) ressortent par l'étage inférieur de la grotte Monceau (R5).
- Les eaux de la perte de Plainevaux (P1) resurgissent à la résurgence occidentale de la Roche-aux-Faucons (R2).
- Les eaux de la Douxhe de la Croisette (P2) réapparaissent à la résurgence orientale de la Roche-aux-Faucons (R3).

La « résurgence » du tuf de Monceau (R4) est vraisemblablement le résultat d'infiltrations



dans le massif et non d'une perte ponctuelle. Dans le cadre de ce travail, nous n'avons pas échantillonné les pertes responsables des résurgences de la Magrée. Notons cependant que le colorant injecté par le GRSC (2004) dans la perte basse du ruisseau de Plainevaux et dans le ruisseau est ressorti à la résurgence de la Magrée et à celle de la Tannerie.

Figure 1 : Emplacement des stations (P1,... R1,... : v. texte)



Campagnes, matériel et méthodes

La résurgence du tuf (R4) et celle de la grotte de Monceau (R5) ont été visitées à plusieurs reprises depuis 1999 (Dethier & Dumoulin, 2004). Les autres ont également fait l'objet de récoltes biologiques en 2000 et en 2001 (Dethier & Hubart, 2001).

En 2005, nous avons mené deux campagnes de prélèvements et d'analyses: du 5 au 8 avril et du 1 au 6 septembre (à ce moment-là, P2, P4 et P5 étaient à sec). Le 21 octobre enfin, en compagnie et avec l'aide de J. Godissart (CPL), nous avons effectué une nouvelle série d'analyse dans les résurgences seulement.

Au cours des deux premières campagnes de 2005, les mesures et estimations de pH, TAC, NO₂ et NO₃ ont été réalisées à l'aide de tests colorimétriques pour aquariophiles. En octobre, les mesures ont été faites grâce aux instruments plus performants de J. Godissart.

En amont des pertes, les prélèvements de macrofaune benthique ont été effectués à l'aide d'un filet Surber à mailles fines, tandis que dans les résurgences, nous avons placé des filets de dérive pendant toute la durée de la campagne. Les échantillons étaient ensuite conservés en alcool, puis triés sous la loupe binoculaire.

Résultats

1. Physico-chimie

Le tableau 1 (ci-dessous) regroupe les valeurs et estimations obtenues au cours de nos campagnes. On ne peut prétendre, sur la base d'un si petit nombre d'échantillons, tirer des conclusions détaillées quant à la qualité chimique des eaux étudiées. Néanmoins, il est possible de relever les points suivants :

- Les écarts de température sont sensiblement plus marqués dans les pertes (10 à 17°C) que dans les résurgences (9 à 11,5°C). Cette régularisation est bien sûr attribuable au parcours souterrain.

- Si les taux de nitrites n'ont jamais atteint le seuil de 0.3 mg/l, les nitrates ont eux, par contre, dépassé à plusieurs reprises la norme de 50 mg/l de rigueur en Région wallonne. Ce fut en particulier le cas pour P1 en période d'étiage, ainsi que pour R2, qui n'est autre que la résurgence de P1, polluée par les eaux usées de Plaineveaux. La résurgence du tuf de Monceau (R4), tant au

printemps qu'en été, a toujours présenté une concentration en nitrates légèrement supérieure à la norme. De même, la concentration en chlore de cette station est suspecte.

- Le TAC s'élève sensiblement lorsqu'on passe des pertes aux résurgences. Ses valeurs présentent en outre une corrélation assez étroite avec celles de la conductivité, ce qui est normal puisque les ions dominants sont Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et HCO₃⁻. Enfin, les couples TAC/pH (respectivement 235/7.83) nous apprennent que les eaux des résurgences sont très proches de l'équilibre, sauf R4, qui est fortement sursaturée.

2. Macrofaune benthique des pertes

La macrofaune benthique comprend les invertébrés vivant sur le fond des eaux : Vers, Mollusques, Crustacés, larves et adultes d'Insectes,... La figure 4 montre quelques représentants de cette faune. Ces animaux subsistent bien sûr de plein fouet tous les événements qui se produisent dans le cours d'eau, en particulier les pollutions. De ce fait, les communautés qu'ils forment peuvent se modifier profondément. Grosso modo, dans les eaux propres, les communautés benthiques sont constituées de nombreuses espèces, chacune représentée par un petit nombre d'individus. Au fur et à mesure que la pollution organique augmente, les espèces sensibles disparaissent les unes après les autres au profit des espèces tolérantes, dont les populations deviennent de plus en plus importantes. A terme, les communautés des eaux très polluées ne comptent plus que quelques espèces, mais représentées alors chacune par de grands nombres d'individus. On a utilisé ce phénomène pour établir des « indices biotiques » qui permettent, grâce à

un tableau standard, d'attribuer une « note » à un échantillon de macrofaune benthique. Ici, nous nous sommes servis de l'indice de qualité biologique globale (IQBG) de Verneaux & Faessel (1976) qui va de 1 (eaux excessivement polluées) à 20 (eaux très propres).

Le tableau 2 (ci-contre) rassemble les résultats des prélèvements effectués au cours des deux campagnes (avril – septembre) de 2005. Il met en évidence les points suivants :

- Le nombre total de taxa (33) est faible par rapport au nombre de stations échantillonnées (10) et au type de ruisseaux étudiés (la plupart sont des ruisseaux forestiers à courant assez rapide, donc bien oxygénés).
- Il n'y a aucun taxon particulièrement polluo-sensible : Plécoptères Perlidae et Epheméroptères Heptageniidae sont totalement absents de nos échantillons (en 1956, Aubert signalait deux espèces de Perla dans l'Ourthe entre Esneux et Fêchereux et, en 2004, nous avons trouvé une grosse larve de *Dinocras cephalotes* dans le Ry d'Oneux). De plus, les taxa quelque peu sensibles à la pollution (Trichoptères à fourreaux larvaires, Plécoptères Nemouridae) ne sont, la plupart du temps, représentés que par de rares individus.
- Par contre, les organismes tolérants, voire très tolérants (Epheméroptères Baetidae, Diptères Simuliidae et Chironomidae, Gammare, Sangsues du genre *Erpobdella* et Vers Oligochètes) sont très abondants, en particulier dans certaines stations.
- En caractères gras, en bas du tableau, nous avons regroupé les taxa qui n'ont été

Tableau 1 : Pertes et résurgences : paramètres physico-chimiques. NO₂, NO₃, Cl, SO₄ : mg/l ; TAC, DHT : mg/l CaCO₃; conductivité : microsiemens/sec; ? : pas mesuré; * : à sec.

Campagnes	Param.	P1	P2	P3	P4	P5	R1a	R1b	R1c	R2	R3	R4	R5
5-8.4.2005	T°	11	10.5	10.5	10	12	9	9	9	9	10	9.5	9
	T° ext. : 12.8												
	pH	6.3	7.5	7	7.5	6	8	8	8	8	8	8	7
	TAC	90	70	55	90	35	160	145	160	215	180	230	125
	NO₂	0.3	?	?	?	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
	NO₃	20	15	15	5	5	20	20	30	20	15	60	10
1-6.9.2005	T°	16	*	17	*	*	11.5	11.5	11.5	10.5	10	9.5	10.5
	T° ext. : 22.4												
	pH	7	*	7.5	*	*	7.5	7.5	7.5	8	8	8	7.5
	TAC	105	*	90	*	*	180	180	180	195	180	195	180
	NO₂	0.3+	*	0.3	*	*	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
	NO₃	80	*	5	*	*	25	25	25	80	15	60	20
21.10.2005	T°								10.7	10.6	10.2	9.8	9.9
	pH								7.35	7.11	7.50	7.83	7.31
	TAC								225	245	195	235	195
	DHT								310	360	270	340	290
	NO₃								?	80	?	?	40
	Cl								23	28	16	34	22
	SO₄								40	45	?	45	42
	Conductivité								500	550	430	520	450

récoltés que dans les résurgences. Parmi eux, certaines espèces sont stygobies ou au moins stygophiles.

- Nous avons enfin calculé les IQBG (dernière ligne du tableau) sur la base de la somme des prélèvements (1^{ère} et 2^{de} campagnes), ce qui majore la valeur indicielle. Or, malgré cela, aucun indice n'atteint la valeur 12, généralement considérée comme le seuil de pollution à ne pas dépasser. On peut donc dire que la qualité biologique des pertes est médiocre (IQBG = 10-11), voire mauvaise en P1 (IQBG = 6). La figure 5 (voir page 18) illustre ces données. Il convient de noter ici que le calcul des indices pour les résurgences a été fait à titre purement indicatif, cette méthode ne s'appliquant pas à ce type de milieu.

3. Faune souterraine

Dans le tableau 3 (page 18), nous avons regroupé toutes les espèces stygophiles et stygobies (ces dernières en caractère gras dans le tableau) trouvées au moins une fois dans les résurgences étudiées, y compris les récoltes de Leruth (1939) en R4 et R5 et nos propres récoltes antérieures aux deux campagnes de 2005 (cf. supra). Sans compter *Niphargus* sp. (vraisemblablement *N. schellenbergi*), 19 espèces ont ainsi été recensées (2 « Vers », 2 Acariens et 15 Crustacés), dont huit généralement considérées comme stygobies (Hubart & Dethier, 1999 ; Dethier & Hubart, 2005). On peut encore relever les points suivants :

- Sur les cinq espèces recensées par Leruth (1939), quatre n'ont pas été retrouvées, en dépit d'un effort de chasse plus important. Il s'agit en particulier de *N. virei*, notre plus grand Niphargidae (il

Tableau 2 : Macrofaune benthique des pertes et résurgences (somme des deux campagnes 2005).

Taxa	(Groupes)	P1	P2	P3	P4	P5	R1	R2	R3	R4	R5	
<i>Glossiphonia</i>	(Hirudinées)	5										
Hydracariens	(Acariens)		3									
Limoniidae	(Diptères)			5								
Dixidae	(Diptères)			3								
Elodes	(Coléoptères)			2								
<i>Pisidium</i>	(Bivalves)			1	4							
<i>Lymnaea</i>	(Gastéropodes)				2							
Planorbidae	(Gastéropodes)				1							
<i>Polycelis</i> (?)	(Triclades)				5							
<i>Simuliidae</i>	(Diptères)	162	17	15	9	6	2					
<i>Baetis</i>	(Ephéméroptères)	176		16	8		3					
<i>Erpobdella</i>	(Hirudinées)	38						3				
Ceratopogonidae	(Diptères)	9	7	6	6	5				2		
<i>Limnephilidae</i>	(Trichoptères)		2	12	4	9	12					
<i>Nemoura</i>	(Plécoptères)			4		6			29			
<i>Nemurella</i>	(Plécoptères)				6							
Sericostomatidae	(Trichoptères)			4						4		
Oligochètes	(Annélides)	232	56	15	114	212	17	14		5	7	
Chironomidae	(Diptères)	465	153	20	107	63	42	12	42	8	66	
<i>Gammarus</i>	(Amphipodes)			128			137	332	100	55	30	
Tipulidae	(Diptères)				4		1	2	1			
Stratiomyidae	(Diptères)						1					
Psychodidae	(Diptères)	2							3		1	
<i>Ancylus</i>	(Gastéropodes)						4					
Elmidae	(Coléoptères)						1	2		2		
<i>Protonemura</i>	(Plécoptères)								45	8		
Lepidostomatidae	(Trichoptères)								12	5		
Hydroptilidae	(Trichoptères)									1		
<i>Niphargus</i>	(Amphipodes)						10	135	42	31	2	
<i>Proasellus</i>	(Isopodes)						2		1			
Ostracoda	(Ostracodes)						2	2			8	
Cyclopoidea	(Copépodes)						4				2	
Harpacticoida	(Copépodes)						4				1	
N Taxa		33	8	6	13	12	6	15	8	9	10	8
IQBG		6	10	11	11	10	11	4	10	10	4	

peut dépasser 3 cm) et de deux petits Hydracariens, tous trois récoltés dans le ruisseau de la grotte Monceau. *N. virei* semble en régression en Wallonie. Cette espèce rechercherait à la fois les eaux

faiblement courantes et les collections d'eau assez importantes (Leruth, 1936, 1939; Hoffmann, 1963; Stock, 1972; Cuppen, 1978), où il creuse ses terriers dans la vase du fond. *N. schellenbergi*,

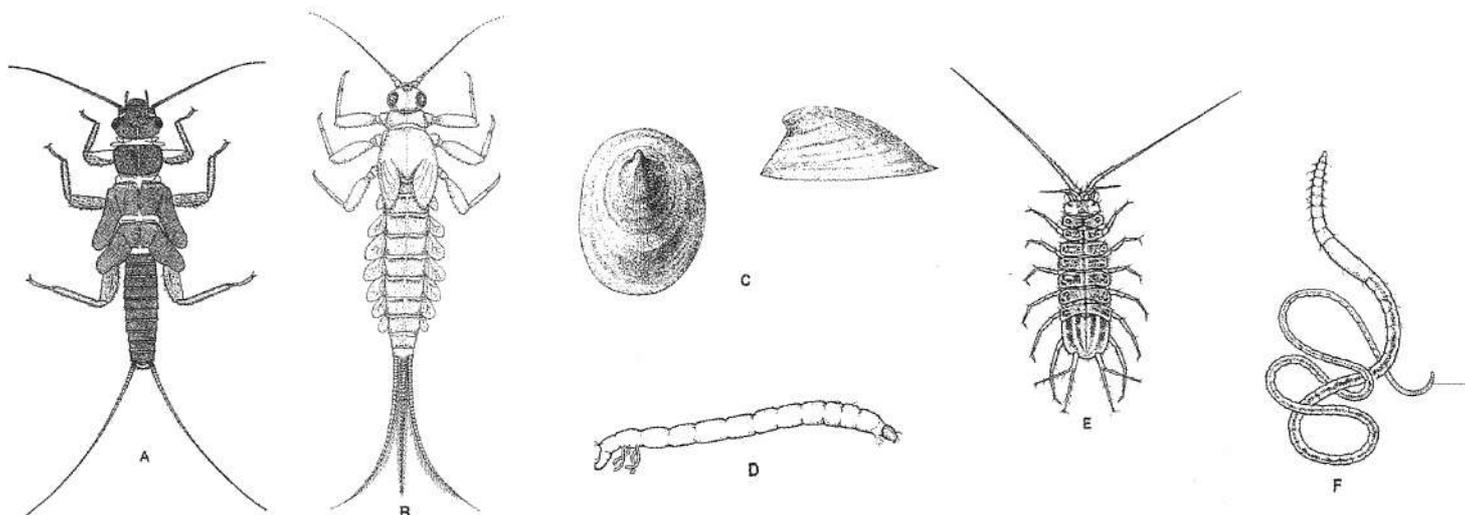


Figure 4 : Représentants de la macrofaune benthique.

A : larve de *Protonemura* (Plécoptère); B : larve de *Baetis* (Ephéméroptère); C : *Ancylus fluviatilis*, Mollusque Gastéropode; D : larve de Chironome (Diptère); E : Aselle (Crustacé Isopode); F : Oligochète (Ver annelé).

ou contraire, recherche les eaux courantes rapides. Les deux Acariens, *S. chappuisi* et *S. cavernicola*, semblent répandus dans les eaux souterraines d'Europe, mais leur petite taille fait sans doute qu'elles échappent facilement aux recherches. Leruth (1939) n'a récolté que deux individus de la première espèce (dont un à Monceau) et 12 de la seconde (dont trois à Monceau).

- Nous avons par contre recensé quatre espèces stygobies nouvelles pour l'ensemble des stations, dont les deux espèces cavernicoles de *Proasellus*, dont *P. hermallensis*, espèce interstitielle de la nappe phréatique de la Meuse (Henry, 1974 ; Hubart, 1982) et le très rare Ostracode *P. zschokkei* (une femelle en R2, le 6.9.2005), capturé en une seule station par Leruth, dans un puits à Hermalle s/Argenteau, mais à plusieurs centaines d'exemplaires. Nous avons également récolté un individu du « Vers plat » cavernicole *D. cf. collini* (son mauvais état de conservation ne permet pas une détermination sûre). Enfin, nous avons récolté plusieurs espèces de Copépodes et d'Ostracodes stygophiles (surtout dans le ruisseau de la grotte Monceau), dont *P. imminutus*, espèce

Tableau 3 : Organismes « cavernicoles » (en gras, les espèces stygobies) rencontrés dans les résurgences étudiées (toutes campagnes confondues).

Familles	Genres et espèces	Leruth		2000 - 2005				
		R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
Dendrocoelidae	Dendrocoelum cf. collini De Beauchamp					x		
Tubificidae	<i>Spirosperma velutinus</i> (Grube)							x
Cyclopidae	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer)		x					
	<i>Paracyclops imminutus</i> (Kiefer)			x		x		x
	<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer)							x
	<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg)							x
	<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)							x
Canthocamptidae	<i>Bryocamptus minutus</i> (Claus)				x			
	<i>Bryocamptus echinatus</i> (Mrazek)			x				x
	<i>Attheyella crassa</i> (Sars)				x			
Cyprididae	<i>Potamocypris zschokkei</i> (Kaufmann)							x
	<i>Psychrodromus olivaceus</i> (Brady)							x
Candonidae	Pseudocandona zschokkei (Wolf)				x			
Niphargidae	Niphargus schellenbergi Karaman	x		x	x	x	x	
	Tabl		x					
	Niphargus sp.			x	x	x	x	x
Asellidae	Proasellus cavaticus Leydig			x		x		x
	Proasellus hermallensis Arcangeli			x				
Porohalacaridae	Soldanellonyx chappuisi Walter		x					
Rhizoglyphidae	Schwiebea cavernicola Vitzthum		x					

nouvelle pour notre faune, trouvée déjà à Monceau en 2001, mais aussi dans les grottes de Remouchamps et de Comblain-au-Pont, dans la galerie minière de la Chartreuse et dans des sources près de La Reid (Dethier & Hubart, 2003).

Ces modifications sont peut-être dues à la pollution croissante des eaux de surface et, partant, des eaux souterraines. En effet, depuis l'époque de Leruth, de nombreux lotissements ont été bâtis sur le plateau et des routes tracées. En outre, du goudron excédentaire a été déversé dans la « double douve boisée », en tête de réseau et à 260 m en amont de la Triple Douve (et non dans celle-ci, comme le laisse entendre Bay en 1968, car inaccessible aux camions). Cette double douve servait alors de dépôt à la commune de Plainevaux et c'est l'entrepreneur qui a construit la route du Condroz qui est responsable de ce

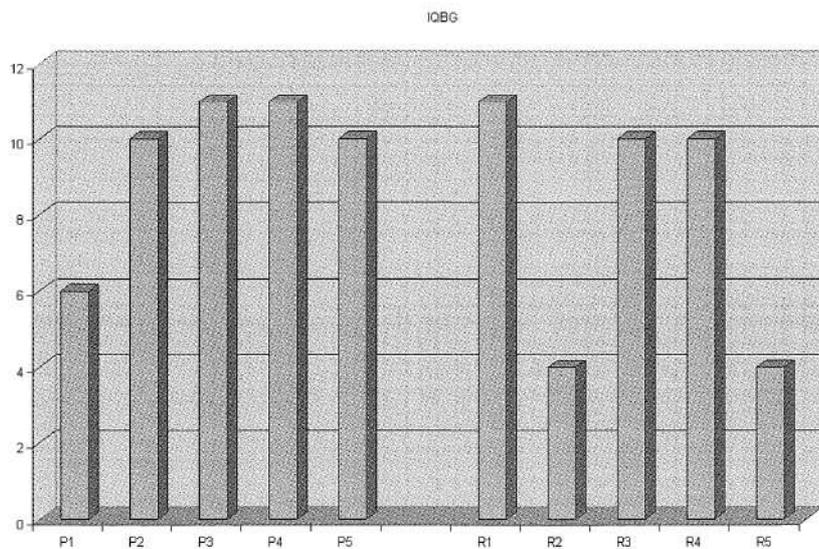


Figure 5 : Histogramme des IQBG

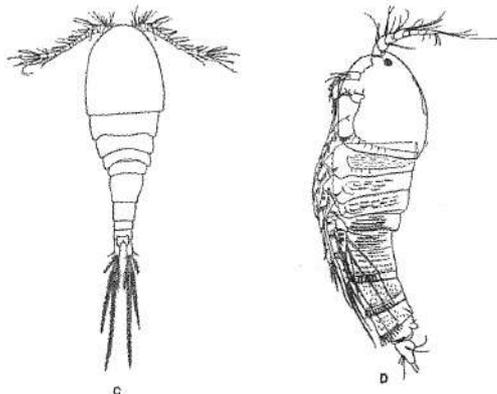
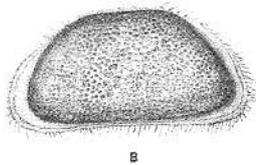
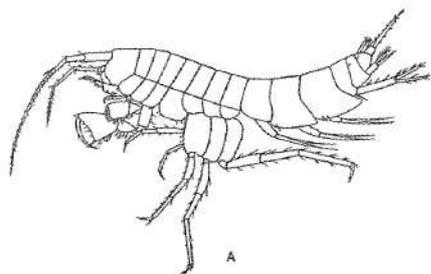


Figure 6 : Eléments de la faune souterraine.

A : *Niphargus*, Crustacé Amphipode stygobien; **B** : Crustacé Ostracode stygobien (*Pseudocandona zschokkei*); **C** : Crustacé Copépode stygobien (*Acanthocyclops* sp.); **D** : Crustacé Copépode stygophile (*Attheyella crassa*).

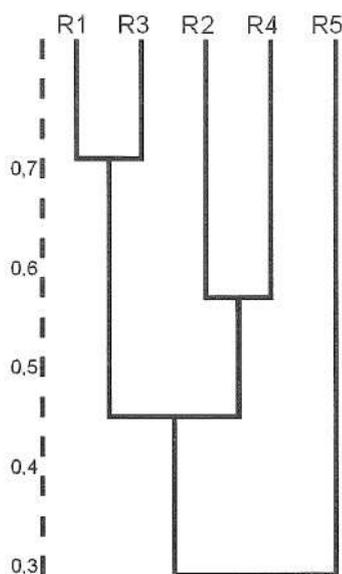
déversement intempêtif. Les traces de cet accident y sont encore visibles aujourd'hui et les spéléologues du GRSC les ont également observées dans le nouveau réseau qu'ils ont récemment découvert, en particulier sur les parois et le plafond de la galerie du collecteur Sud, devant le siphon (Xhaard, comm. pers.). On ne connaît plus la date exacte de cet événement, mais il a dû survenir avant la violente crue de juillet 1966, qui ne provenait pas du siphon terminal de Monceau, mais d'une cheminée

menant aux étages supérieurs. La figure 6 (page précédente) présente quelques représentants de cette faune souterraine.

Nous avons aussi calculé, sur la base du tableau 3 (récoltes de 2000 à 2005), l'indice de similitude de Sorensen selon la formule :

$$I = 2c/a+b$$

où a = nombre d'espèces dans la station A
b = nombre d'espèces dans la station B
c = nombre d'espèces communes aux deux stations.



Indice de Sørensen
 $I = 2c/(b+a)$

Figure 7 : Dendrogramme (indice de Sorensen) pour les résurgences.

Le dendrogramme de la figure 7 (ci-contre) montre des similitudes faunistiques assez étroites entre R1 et R3 (présence, notamment, de *P. imminutus* et de *P. cavaticus*), plus lâches entre R2 et R4 (stations assez pauvres, surtout R4) et isole nettement R5 (présence de plusieurs Crustacés stygophiles).

Enfin, la figure 8 (ci-dessous) est une tentative de synthèse de nos résultats. Nous y avons disposé les pertes (P) et les résurgences (R) en fonction de leurs connexions hydrologiques et, dans le cas des résurgences, dans l'ordre tel qu'il ressort du dendrogramme de la fig. 7. Nous avons également associé à chaque station les paramètres qui nous paraissaient les plus intéressants.

Discussion et conclusions

Il n'existe encore que relativement peu d'études sur l'influence de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines et sur l'évolution de leur faune.

Chez nous, seules quelques études ponctuelles ont été réalisées. Cors & al. (2004) ont étudié des sources de la

région de La Reid (province de Liège), déjà échantillonnées par Leruth (1939). Ils ont constaté la disparition de quatre espèces, dont une stygobie, les six espèces récoltées récemment étant des organismes stygophiles assez communs dans les eaux souterraines. Dethier & Dumoulin (2004) ont dressé un premier bilan de l'évolution de la faune de la grotte Monceau et signalé la disparition, depuis l'époque de Leruth, de plusieurs espèces stygobies (c'est par erreur qu'ils ont noté la présence actuelle de *N. virei* dans R4 !). Enfin Flamen (2005) a étudié la macrofaune benthique de la Lesse souterraine dans la grotte de Han. Contrairement à Leruth (1939), Delhez & al. (1999) et Hubart & Dethier (1999), elle n'y signale aujourd'hui la présence que de quelques Niphargus.

Si l'on étend les recherches bibliographiques à l'ensemble de l'Europe, on trouve évidemment davantage de références. Nous limiterons cependant ici les travaux cités à quelques exemples. Rouch & Bonnet (1976) ont étudié les Harpacticides de cinq résurgences du système karstique du Baget (Ariège, France). Ils y ont relevé la présence de 21 espèces, dont 8 stygobies et ont constaté une certaine homogénéité entre leurs échantillons (mais quatre de leurs stations étaient situées dans un rayon de 100 m). Les espèces stygobies dépendaient d'une structure de karst noyé, les espèces stygoxènes et stygophiles étant plus en rapport avec la position topographique de la résurgence par rapport à la perte. A l'inverse, Moeschler & al. (1988) ont observé de grandes différences de faune (Harpacticoida, Syncarida, Cyclopoidea, Amphipoda et Isopoda) entre les sources étudiées dans le Jura neuchâtelois. Mais ces dernières étaient situées à plusieurs kilomètres l'une de l'autre et ne

NO3 (mg/l)	?	<50	>50	?	<50	<50	<50
IQBG	?	10	6	?	11	11	10
Pertes	?	P2	P1	?	P3	P4	P5

	↓	↓	↓	↓	↘	↓	↙
Résurgences	R1	R3	R2	R4	R5		
Parcours	3 à 6 km	1 km	2 km	?	1 à 2 km		
NO3 (mg/l)	<50	<50	>50	>50	<50		
N spp.	5	4	4	1	9		
% stygobies	60	75	50	100	22		
Espèces	<i>P. cavaticus</i>	<i>P. cavaticus</i>			<i>P. cavaticus</i>		
	<i>P. hermannensis</i>	<i>D. collini</i>	<i>P. zschakkei</i>				
	<i>N. schellenbergi</i>						
					<i>(N. virei)</i>		
					<i>(S. chappuisi)</i>		
					<i>(S. cavernicola)</i>		

Figure 8 : Récapitulation des principaux paramètres (parcours en km : à vol d'oiseau).

présentaient sans doute pas de drainage unifié. Mestrov & Lattinger-Penko (1978, 1981) ont montré que la pollution des eaux de surface se faisait ressentir jusqu'à au moins deux mètres de profondeur dans le milieu hyporhéique. Turquin & Crague (1994) ont mis en évidence l'impact des activités humaines (augmentation de l'urbanisation, des cultures, de l'usage de phytosanitaires,... entre 1970 et 1992) sur la faune cavernicole et la qualité des eaux souterraines du Puits de la Rappe (Ain, France). Plutôt que des phénomènes d'autoépuration (généralement peu marqués dans le karst), ces auteurs évoquent une absorption et un stockage des nitrates et autres polluants sur l'argile des galeries et des fissures, avec risque de relarguage à la faveur d'une crue. Cette situation entraîne, selon eux, une perturbation des ressources alimentaires (eutrophisation du milieu souterrain, qui devient moins sélectif), ce qui provoque un glissement de la faune souterraine de communautés troglobies et troglaphiles vers des communautés de plus en plus troglôxènes, voire allochtones.

Schmidt & al. (1991) ont à leur tour montré que la pollution des aquifères entraîne des modifications de la faune interstitielle, se traduisant par une augmentation des populations de microcrustacés, Cladocères et Ostracodes surtout. Creuzé des Châtelliers & al. (1992) parviennent aux mêmes constatations. Ils signalent en outre la disparition des espèces stygobies dès qu'une pollution se fait persistante.

D'une manière générale, de nombreux auteurs ont évoqué l'importance des eaux souterraines pour l'homme. Gibert (1992) fait remarquer qu'elles constituent une réserve limitée, fragile mais indispensable et qu'elles méritent de véritables mesures de prévention et pas seulement que nous nous abritons derrière nos capacités techniques de traitement des eaux. Marmonnier & al. (1993) évoquent la biodiversité dans les eaux souterraines et distinguent, chez les espèces stygobies, les « ubiquistes » (que l'on rencontre dans les sédiments et dans les grottes) des phréatobies (qui vivent uniquement dans les sédiments.) Ils

rappellent également que les trois types d'aquifères (poreux, fissuré et karstique) ont des modes de fonctionnement très différents et, par conséquent, des faunes et des réactions aux pollutions différentes. Au début des années 2000, un projet européen d'étude de la biodiversité des eaux souterraines a été initié (Malard, 2001). Les résultats complets ne sont pas encore disponibles mais on peut espérer que cette vaste étude pluridisciplinaire, portant sur cinq pays européens, apportera des connaissances précieuses pour la gestion des eaux souterraines.

En conclusion, notre modeste étude a peut-être pour principal mérite de mettre en lumière le chemin qui reste à parcourir dans le domaine de la pollution des eaux souterraines, tant d'un point de vue théorique (connaissance de la faune et de la biologie des espèces) que d'un point de vue pratique (estimation de la qualité des eaux). L'établissement d'indices biologiques pour les eaux souterraines n'est pas encore pour demain.

Bibliographie

- Aubert, J. 1956. Contribution à l'étude des Pléocoptères de Belgique. *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belgique*, 32 (15) : 1-12.
- Bay, M. 1968. Le vallon de Beaugard : étude géomorphologique d'un synclinal calcaire. *Mém. Lic. Sc. Géogr. Ulg*, 106 pp.
- Briffoz, A. 1998. Prospection à la résurgence de Rosière. *Regards*, 33 : 19.
- Cors, R. ; Dethier, M. & Fagot, J. 2004. Etude hydrobiologique des eaux du Turon (commune de Theux, province de Liège, Belgique). *Natura Mosana*, 57 (1) : 1-26.
- Cuppen, J.G.M. 1978. Een bijdrage tot de kennis omtrent de verspreiding van *Niphargus*-soorten (Crustacea Amphipoda) in Zuid-Limburg. *Natuurhist. Maandblad*, 67 (8) : 111-117.
- Creuzé des Châtelliers, M.; Marmonnier, P.; Dole-Olivier, M.-J. & Castella, E. 1992. Structure of interstitial assemblages in a regulated channel of the river Rhine (France). *Reg. Rivers : research and management*, 7 : 23-30.
- Delhez, F.; Dethier, M. & Hubart, J.-M. 1999. Contribution à la connaissance de la faune des grottes de Wallonie. *Bull. Cherch. Wallonie*, 39 : 27-54.
- Dethier, M. & Dumoulin, Ch. 2004. Estimation de la dérive faunique dans le milieu souterrain. L'exemple de la grotte Monceau. *Bull. Cherch. Wallonie*, 43 : 91-100.
- Dethier, M. & Hubart, J.-M. 2001. Nouvelles stations d'Aselles troglobies de Belgique. *Notes fauniques de Gembloux*, 42 : 89.
- Dethier, M. & Hubart, J.-M. 2003. Nouvelles récoltes et observations concernant la faune souterraine de Wallonie. *Bull. Cherch. Wallonie*, 42 : 45-56.
- Dethier, M. & Hubart, J.-M. 2005. La « troglobitude » : adaptations à la vie souterraine. *Notes fauniques de Gembloux*, 57 : 29-48.
- Flamen, C. 2005. Biodiversité des eaux souterraines : inventaire et analyses de certains paramètres pouvant influencer la richesse et la diversité des organismes de cet habitat particulier. *Mém. Lic. Sci. Biol. FUNDP*, 62 pp.
- G.R.S.C. 2004. La résurgence de Rosière. *Regards*, 56 : 13-15.
- Haesen, L. 2001. Résurgence de Fêchereux. *Regards*, 40 : 33-34.
- Gibert, J. 1992. Groundwater ecology from the perspective of environmental sustainability. *1st int. Conf. on ground water Ecol.* : 3-13.
- Hoffmann, J. 1963. Faune des Amphipodes du Grand-Duché de Luxembourg. *Arch. Inst. Grand Ducal Lux.*, 29 : 77-128.
- Hubart, J.-M. 1982. Observations préliminaires sur la biologie de *Proasellus hermaliensis* Arcangeli (Crustacea, Isopoda, Asellota). *Bull. Cherch. Wallonie*, 25 : 347-362.
- Hubart, J.-M. & Dethier, M. 1999. La faune troglobie de Belgique : état actuel des connaissances et perspectives. *Bull. Soc. r. belge Entom.*, 135 : 164-178.
- Leruth, R. 1936. Notes d'hydrobiologie souterraine. IV. Remarques écologiques sur le genre *Niphargus* (Crust. Amphipode). 2. Spécialisation des différentes espèces de *Niphargus*. *Bull. Soc. Roy. Sc. Liège*, 5 : 512-518.
- Leruth, R. 1939. La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique. *Mém. Inst. R. Sc. Nat. Belgique*, n° 87, 506 pp.
- Malard, F. (ed.). 2002. Sampling manual for the assessment of regional groundwater biodiversity. *Pascalis*, 74 pp. + annexes.
- Marmonnier, P.; Vervier, Ph.; Gibert, J. & Dole-Olivier, M.-J. 1993. Biodiversity in ground waters. *Trends Ecol. Evol.*, 8 (11) : 392-395.
- Mestrov, M. & Lattinger-Penko, R. 1978. Ecological investigations of the influence of a polluted river on surrounding interstitial underground waters. *Int. J. Speleol.*, 9 : 331-355.
- Mestrov, M. & Lattinger-Penko, R. 1981. Investigation of the mutual influence between a polluted river and its hyporheic. *Int. J. Speleol.*, 11 : 159-171.
- Meus, Ph. 2003. Magrée souterraine. *Regards*, 46 : 14-15.
- Moeschler, P.; Christe, R. & Müller, I. 1988. Microcrustaceans as bioindicators in karstic aquifers : a case study in the Jura (Neuchâtel, Switzerland). *Proc. IAH 21st Congress*, 21 (2) : 948-953.
- Rouch, R. & Bonnet, L. 1976. Le système karstique du Baget. IV. Premières données sur la structure et l'organisation de la communauté des Harpacticides. *Ann. Spéleol.*, 31 : 27-41.
- Schmidt, C.M. ; Marmonnier, P. ; Plénet,

S. ; Creuzé des Châtelliers, M. & Gibert, J. 1991. Bank filtration and interstitial communities. Example of the Rhône river in a polluted sector (downstream of Lyon, Grand Gravier, France). *Hydrogéologie*, 3 : 217-223.

- Schoonbroodt, J. 2001. Chantoir de Plainevaux, douxhe de la Croisette et découverte de leurs résurgences. *Regards*, 40 : 2-10.
- Schoonbroodt, J. & Guidice, C. 1998. Une nouvelle énigme hydrogéologique vient d'être percée en province de Liège. *Regards*, 32 : 32-33.
- Stock, J.H. 1972. L'état actuel des connaissances sur les genres du groupe *Niphargus* du Benelux. *Actes 1er Coll. intern. sur le genre Niphargus, Verona, Mem. 5* : 32-34.
- Turquin, M.-J. & Crague, G. 1994. Impact de la gestion des eaux usées sur la biocénose cavernicole de la zone noyée et du système karstique de la Rappe (Neuville s/Ain, France). *Bull. mens. Soc. linn. Lyon*, 63 (9) : 337-348.
- Van den Broeck, E. ; Martel, E. & Rahir, E. 1910. Les cavernes et les rivières souterraines de la Belgique. Bruxelles, 2 tomes.
- Verneaux, J. & Faessel, R. 1976. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *CTGREF, Paris*, 20 pp.
- Xhaard, P. 2005. Traçage du vallon de Beauregard. *Regards*, 61 : 26-31.

Remerciements

Les Drs I. Pandourski (Sofia) et Cl. Meisch (Luxembourg) ont déterminé les Copépodes et les Ostracodes.

M. J. Godissart (CPL) nous a accompagné sur le terrain lors de la troisième campagne et a effectué une série de mesures physico-chimiques.

M. J.-M. Hubart (Chercheurs de la Wallonie) nous a accompagné à maintes reprises dans la grotte Monceau.

Enfin, MM. P. Xhaard (GRSC) et J. Godissart (CPL) ont relu notre manuscrit.

Que toutes ces personnes veuillent bien trouver ici l'expression de notre reconnaissance.

Adresses des auteurs :

- Michel Dethier (pour correspondance)
Rue du Cimetière, 91
4030 - Liège
michel.dethier@adesa.be
- José Schoonbroodt
Rue Chery, 47
4400 - Flémalle

Glossaire

Benthique : s'applique à tout ce qui se trouve sur le fond d'une rivière, d'un lac, d'une mer. La faune benthique d'un cours d'eau vit donc dans les cailloux, la vase, ... qui constituent le lit de ce cours d'eau.

Dendrogramme : figure ramifiée (dendron = arbre, en grec) mettant en évidence les ressemblances et les différences (« similitude ») entre diverses choses (p. ex., entre les faunes de différentes stations).

Hyporhéique : se dit des écoulements d'eau sous le lit d'une rivière, au sein du substrat (cailloux, etc.). Synonyme d'interstitiel.

Indice de similitude : méthode de calcul qui permet d'estimer le degré de ressemblance (de différence) entre, par exemple, plusieurs listes d'espèces recensées dans diverses stations. Ici, nous avons utilisé celle mise au point par Sorensen (mais il y en a d'autres).

IQBG (= indice de qualité biologique global). Les communautés d'invertébrés benthiques (v. ce mot) d'un cours d'eau sont modifiées par le degré de pollution, les espèces les plus sensibles disparaissant les premières pour, finalement, laisser la place aux plus résistantes. A l'aide d'un tableau standard, on peut, sur la base de l'examen d'un échantillon de faune prélevé dans le lit de la rivière avec un filet Surber (v. ce mot), attribuer une « note » de qualité biologique à la station. Dans le cas de l'IQBG, cette note va de 1 (la pire) à 20 (la meilleure).

Phréatobie : se dit des organismes vivant dans les sources.

Surber : filet à mailles fines, emmanché, pour la récolte des invertébrés benthiques des cours d'eau. En avant de l'ouverture du filet, une lame étallique permet de racler le fond afin de déloger les animaux qui vivent sous les cailloux, etc.

Stygoxène, stygophile, stygobie : indique le degré d'adaptation croissant des organismes aquatiques à la vie souterraine. Pour la faune terrestre, on parle de troglaxène, troglophile et troglobie.

TAC (= titre alcalimétrique complet) : estimation de la dureté carbonatée d'une eau par dosage de HCO₃⁻.

Taxon (pluriel taxa) : unité systématique quelconque (espèce, genre, famille, ...) indiquant le niveau de détermination atteint dans une liste faunistique comme, par exemple, dans l'établissement de l'IQBG.

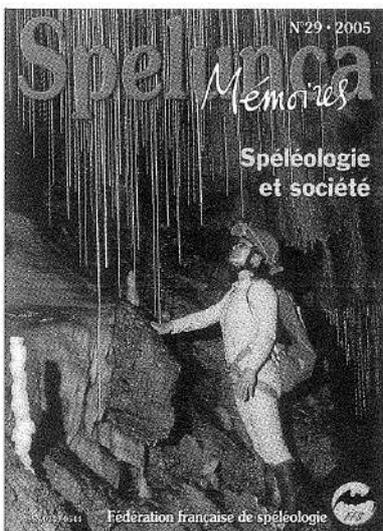
Spéléologie et société : Actes du 25^e Congrès national – Ollioules (Var), 7-8-9 juin 2003; sous la direction de Claude Mouret.

Actes de Congrès, donc, ce gros pavé de 336 pages.

Le thème est vaste, puisqu'il met en relation le spéléologue et la société, que celui-là peut ressentir comme « le monde extérieur », « les autres »...

L'ensemble de ces communications tente d'établir les apports de la spéléologie à ce monde extérieur, tente de justifier, en quelque sorte, notre utilité, notre raison d'être.

En est-il besoin ? Certainement, ne fut-ce que pour nous garder les accès aux cavités, dont les entrées sont « la propriété du propriétaire du sol », et donc soumis à son bon vouloir, ainsi que pour contrer les trop faciles accès de poussées sécuritaires lors des inévitables accidents -ou même simplement incidents- quasi toujours surmédiatisés.



Ces communications sont d'un intérêt indéniable, fondées sur des études scientifiques souvent remarquables (c'est très tendance, ça !)... Mais elles sont présentées par des spéléologues à des spéléologues. C'est comme si on se justifiait entre nous.

Or voilà bien des informations qui devraient passer « à l'extérieur », vers ce fameux Grand Public !

Bien sûr, je vais me nuancer moi-même : la plupart de ces recherches ont été faites en collaboration avec des intéressés non-spéléos, souvent des pouvoirs publics dans les études d'eau, de tracé d'ouvrages d'art, de recherches archéologiques, d'aménagement touristique...

Je dirai donc que ce recueil de communications est en même temps un grand partage de connaissances et d'actions faites par nos collègues et un « réservoir » de sujets, d'exemples à présenter lorsque nous devons nous montrer à l'extérieur.

Le sommaire est très long, 54 communications, réparties en 8 chapitres :

- Captages, assainissement, hydrogéologie
- Prévention des risques naturels et anthropiques liés au sous-sol
- Connaissance, science
- Archéologie et histoire, Archéologie minière
- Environnement et biologie souterraine
- Médecine, hygiène et insertion sociale
- Actions vers le public : communication, muséographie, tourisme
- Synthèses départementales
- Actions à l'étranger

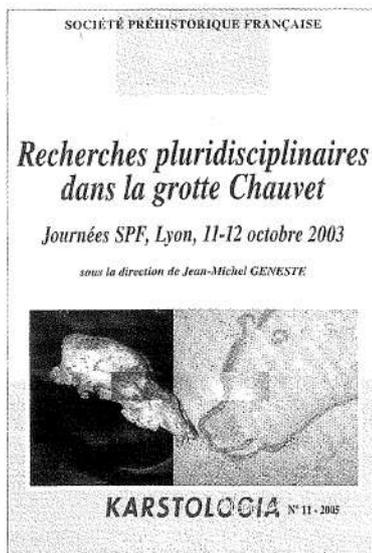
Spéléologie et société : Actes du 25^e Congrès national – Ollioules (Var), 7-8-9 juin 2003 ; sous la direction de Claude Mouret. Fédération Française de Spéléologie, 2005. - 336p : nombreuses illustrations, photos noir et blanc, 16 planches couleur hors texte ; A4. - Spelunca Mémoires n° 29

La FFS est actuellement prise de frénésie de publication, puisque les Spelunca Mémoires n°30 et Karstologia Mémoires n° 12 viennent de paraître. En attendant d'en parler, je présenterai maintenant le Karstologia n° 11 :

Recherches pluridisciplinaires dans la grotte Chauvet : Journées Société Préhistorique Française, 11-12 octobre 2003

Egalement des Actes de journées d'études, mais sur un sujet plus pointu : la célèbre grotte Chauvet. A défaut de pouvoir la visiter, nous pouvons nous en approcher par la lecture, les films ou les photos.

Evidemment, la lecture des communications ici rassemblées n'est pas destinée au lecteur



du journal des sports. Mais la fréquentation des Journées Scientifiques de Spéléologie montre que les spéléos sont intéressés par ce type d'information et capables de les appréhender.

On y lit bien sûr les efforts réalisés pour la conservation du patrimoine, les travaux de datation, étude de la conservation des ossements, étude des circulations humaines et de l'occupation de l'espace souterrain, études de dessins, chronologie relative, et en conclusion : la symbolique de la grotte sous le regard de l'anthropologie.

Donc ceci n'est pas un ouvrage de synthèse, mais en quelque sorte la synthèse des recherches actuelles sur la cavité.

Sommaire :

Présentation : La grotte Chauvet : un bilan des recherches pluridisciplinaires

Chapitre 1 : la grotte son contexte = 3 communications

Chapitre 2 : cadres chronologiques et paléoenvironnemental = 7 communications

Chapitre 3 : fréquentations humaines et art pariétal = 9 communications

Recherches pluridisciplinaires dans la grotte Chauvet : Journées Société Préhistorique Française, 11-12 octobre 2003 - sous la direction de Jean-Michel Geneste SPF-FFS, 2005 ; 208p : nombreuses figures, tableaux, photos couleur ; A4

Changeons résolument de sujet pour venir à la spéléo d'exploration :

Papou 2003 / par le Comité Spéléo d'Île de France

Voici le rapport de la 2^e campagne d'exploration dans les hauts massifs karstiques de la Bairaman – Nakanai Range, publié pour les participants et les sponsors. 20 spéléos essentiellement parisiens, mais aussi Rhône-alpins, ProCaz et Midi-Pyrénéens sont donc partis poursuivre les recherches de 2002 autour de la rivière Baraman.

... « Au final, c'est une équipe très complémentaire, où les qualités de chacun ont pu s'exprimer et qui rentre toute surprise et heureuse d'avoir si bien réussi.

Et il est vrai que le bilan est positif : en trois

grosses semaines d'exploration, 12 km ont été explorés et topographiés, mettant au jour plusieurs réseaux d'importance et donnant une première idée du fonctionnement hydrogéologique de cette partie du plateau de la Bairaman dans les montagnes Nakanai au centre de l'île de Nouvelle-Bretagne.

...le terrain de prospection s'est étagé entre 1000 et 1400m, dans la forêt primaire d'altitude, avec comme perspective plusieurs résurgences de quelques m³/s, chacune située entre 200 et 600m d'altitude.»

Un rapport d'expédition, avec les habituels préparatifs, présentations de la zone, journal d'expé, nombreuses topos, études hydrogéologiques et autre bilan sanitaire. Je dis habituel, car il contient tout ce que doit contenir un rapport d'expédition : j'épinglerai au passage un ensemble de 27 pages de texte qui, par des courts paragraphes, part de l'histoire de l'île, raconte les moments importants -Maïto : dernier village avant la jungle-, ... complètement Sing-Sing avant...- donne l'ambiance -La face sombre du paradis : la pluie tombe, mais l'eau ne reste pas-, pointe les détails techniques et reprend un questions/réponses organisé dans les échanges avec les 5 écoles d'Issy-

les-Moulineaux qui avaient adopté le projet pédagogique « un papou à l'école ».

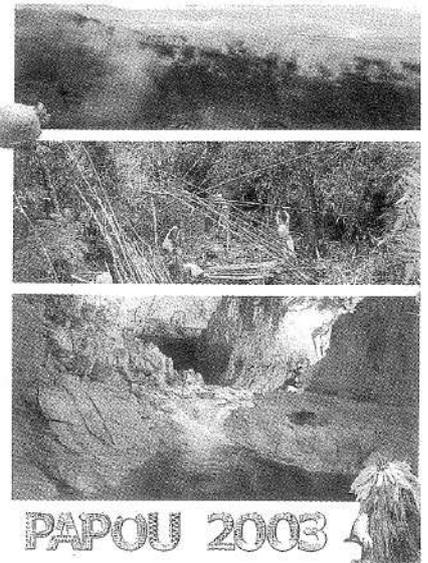
Un projet très intéressant, justement une ouverture vers l'extérieur puisqu'il associait ces écoles à l'expédition : les enfants pouvaient la suivre via le site internet mis à jours régulièrement (vive le téléphone satellite), les cours étaient illustrés par les éléments touchant l'expédition et son cadre, et plus encore cela a débouché sur des contacts entre l'école de Palmamal et celles d'Issy-les-Moulineaux ! « Le monde est un village », qu'on vous dit.

Le tout, illustré de très nombreuses vignettes couleur, permet de vivre ces trois mois en compagnie de nos collègues en exploration.

Un regret ? le très petit tirage de ce document vivant et bien fait, quasi artisanal, mais l'artisanal d'aujourd'hui est devenu tellement pro...

Expédition spéléologique Papouasie Nouvelle-Guinée Papou 2003 / réalisé par Jean-Paul Couturier à partir des documents produits par les membres de l'expédition COSIF, 2005. - 131p : nombreux plans dépliant, topos, planches photos couleur ; A4

EXPÉDITION SPÉLÉOLOGIQUE PAPAOUASIE NOUVELLE-GUINÉE
COMITÉ SPÉLÉOLOGIQUE ÎLE-DE-FRANCE



BELGIQUE - Esneux

Les travaux de sécurisation de la paroi rocheuse de Fèchereux ont commencé - Les « Demoiselles » se déshabillent.

Les « Demoiselles ». Ainsi se nomment trois arêtes rocheuses de la paroi de Fèchereux. Ces blocs, comme tout le rocher, font l'objet de travaux de sécurisation commencés depuis une semaine. Pour l'heure, la société chargée de procéder aux travaux a dégagé le terrain en débarrassant la paroi de ses broussailles et des pierres instables.

La partie principale et plus délicate des travaux, l'abattage de pans entiers de roche, devrait être réalisée au cours du mois de février. Elle porte aussi sur la construction et la mise en place de mesures de sécurisation dans trois zones. Celle des Demoiselles qui va être bardée de filets, de câbles et de barrière de retenue. La paroi le long de la route dont la base sera dotée d'une barrière de retenue des cailloux. Et l'ancienne carrière où un mur va être édifié pour protéger des éboulis.

Estelle AUBERT
Vu sur Le Soir.be - 9/2/2006

Infos du fond !



FRANCE - Angoulême

Découverte en Charente de gravures plus anciennes que celles de Lascaux

Des gravures datant d'environ 25.000 ans avant notre ère, donc beaucoup plus anciennes que celles de Lascaux, ont été découvertes sur les parois d'une grotte à Vilhonneur près d'Angoulême (Charente), selon la préfecture de Charente et le ministère de la Culture.

«C'est sûrement intéressant parce que c'est très très vieux. Mais au plan événementiel, touristique, ce n'est absolument pas Lascaux».

Selon le ministère de la Culture, ces vestiges -gravures sur parois, ossements humains et d'animaux- datent «du paléolithique supérieur, période gravettienne, autour de 25.000 ans» avant notre ère.

«Pour intéressantes qu'elles soient, ces découvertes s'inscrivent dans la lignée des grottes connues comme celles de Cussac en Dordogne, et ne présentent pas pour l'instant de caractère spectaculaire comme celle de la grotte de Cosquer (Bouches-du-Rhône) et de Chauvet (Ardèche)», selon le ministère.

Vu sur la liste de discussion française

FRANCE

Mirolda 2006, un petit come back belge au fin fond de la Haute-Savoie

C'est presque du Dumas, puisque près de vingt ans après, voilà que des spéléos belges s'investissent à nouveau dans ce formidable réseau.

En effet, il y a plus de vingt ans, le GSAB, Serge YX en tête, avait sévi avec succès dans l'exploration du Gouffre Mirolda dans le Massif du Criou à Samoëns en Haute-Savoie, sous la houlette de Daniel Colliard, moteur incontournable de tout ce qui se fait là depuis plus d'un quart de siècle.

Les dernières pointes des gars du GSAB s'arrêtèrent sur trémie vers -1.000 seulement, et ce n'est que plus tard, grâce à l'obstination de Daniel, et notamment à la désob de cette trémie, que ce gouffre devint à plusieurs reprises le plus profond du monde, jusqu'il y a un an encore, en supplantant Voronya par -1.733m suite au franchissement du S2 par Michel Philips.

Grâce à Nathalie Strappazon du SCB, motivée pour y aller et ayant sollicité Serge Yx qu'elle connaît bien et qu'elle savait ami de Daniel Colliard, contact fut pris en 2005 avec Daniel pour qu'une équipe belge participe à nouveau à des travaux à Mirolda.

Démuni en équipiers désireux d'aller se mouiller à -1.600, et se souvenant des belles prestations fournies par le GSAB il y a 20 ans, Daniel n'hésita pas une seconde à nous accueillir avec pour objectif de re franchir le S2 de -1.610 avec un plongeur, désamorcer ce court siphon, passer ensuite tous en ponto-marboré et poursuivre les explos derrière (deux gros arrêts sur rien dans la zone -1.700).

Programmée fin 2005, les difficultés à réunir une équipe compétente à pied levé nous contraignent finalement à reporter l'expé à fin janvier.

Le volume d'enneigement rend l'accès à pied difficile il n'y a pas moins de mille mètres de dénivellation à se taper depuis la vallée pour atteindre les chalets du Criou, eux-mêmes situés 200 mètres plus bas que l'orifice du gouffre. C'est le prix à payer pour pouvoir explorer la zone du fond en toute quiétude, l'hiver lorsque deux ou trois mètres de neige recouvrent le massif et qu'il fait bien froid, l'étiage est maximal, en été il est dangereux de s'aventurer au-delà de -600.

Pour permettre la réalisation de l'expé, Daniel nous propose un hélicoptage bon marché grâce à un copain pilote basé dans la vallée.

Ce petit luxe est suffisamment rare pour nous faire rêver et donner toute la saveur d'une expé à cette aventure, et comme

ça, en surface au moins, nous n'aurons pas à faire les bêtes de somme.

L'aventure en question a lieu le samedi 21 janvier, après avoir été hélicoptés jusqu'aux chalets du Criou et y avoir dormi, après avoir fait la trace jusqu'à l'entrée du trou, porté le matos et dégagé l'entrée des deux mètres de neige qui la recouvraient, nous quittons finalement le soleil et le blanc immaculé pour une plongée de 91h dans le noir immaculé.

Tombé malade l'avant-veille du départ nous n'avons plus de plongeur, et de plus nous constaterons plus tard que les bouteilles stockées à -1.000 sont vides, l'objectif plongée s'efface donc pour laisser place à quelques corvées utiles pour la suite, puisqu'il est apparu d'emblée certain que cette expé ne serait pas un « one shot » de notre part.

Au cours d'un périple de quelques jours avec bivouacs donc, nous acheminons à -1.000 des rouleaux de tuyaux pour la vidange du siphon de -1.600, nous rééquiperons deux puits hors flotte vers -900, nous vérifions que le bivouac dit de -1.000 (en réalité à -1.460 par rapport à la configuration actuelle du gouffre) n'a pas été emporté par la crue centenaire qui a eu lieu l'été dernier, et comme ce ne fut pas le cas nous y logeons; nous redessinons la topo d'un réseau de conduites forcées balayées d'un puissant courant d'air qui remontent du bivouac à -1.460 sur plus de 300m, pour buter sur un rétrécissement de concrétions que nous tentons en vain de massacrer au marteau-burin. Derrière ça s'agrandit et le courant d'air glacial donne à penser à une autre entrée, auquel cas le bivouac du fond, la zone -1500 et au-delà, serait accessible via un -500 puisque nous sommes beaucoup

plus bas vers la vallée ! Il n'y a donc pas que derrière le S2 qu'il reste des choses intéressantes à faire dans la zone du fond.

Enfin, et via une dernière nuit à -600 où il nous faudra le lendemain sept longues heures et demi d'attente pour parvenir à sécher au hamac chauffant les couchages qui restent sur place, nous remontons avec nos poubelles et les trois bouteilles de plongée pour sortir au petit matin dans le blanc total, il neige et fait brumeux, ciel, horizon et sol sont blancs. A un quart d'heure la cabane et le poêle.

Nous voilà tous amoureux de Mirolda et partants pour le prochain épisode de cette saga, plongée, désamorçage du S2 et poursuite de l'explo derrière, et/ou désintégration de l'étranglement du réseau remontant et poursuite de l'explo...dans tous les cas, il y a de quoi faire.

Richard Grebeude
(SCB-GSAB)

Pour ceux qui désirent en savoir plus sur ce petit périple, consultez le site : www.speleoclubdebelgique.be à la rubrique "News" qui vous renverra sur un récit détaillé de huit pages. Ainsi que sur le site www.continent7.be sur lequel apparaîtra bientôt une galerie photos.

Participants :

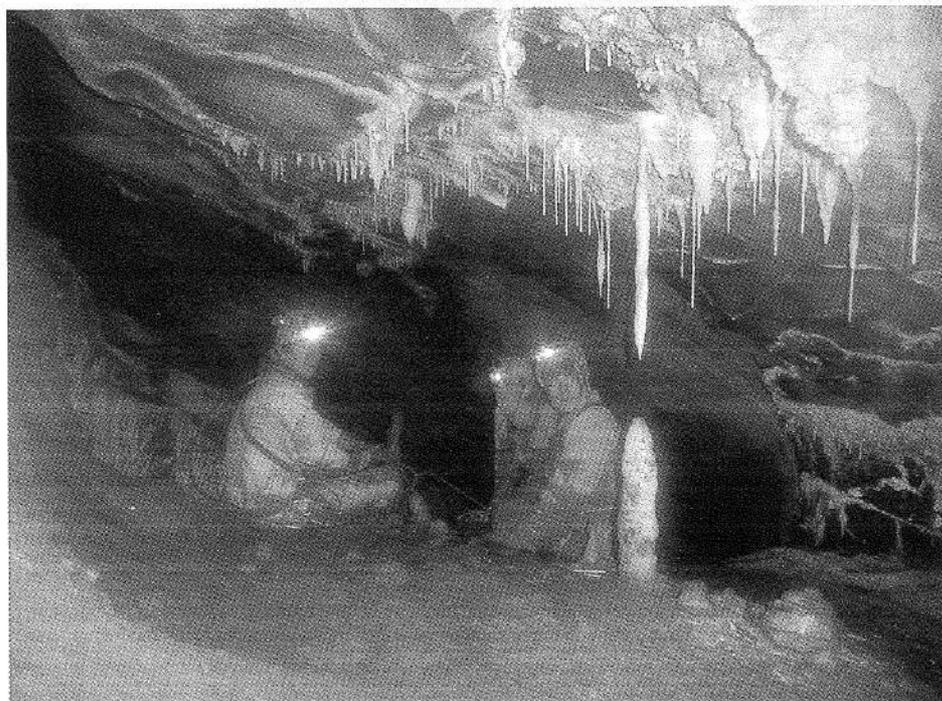
Pour les français :

Arthur Meauxsoone (tout juste 18 ans), le fils de Guy pour ceux qui connaissent, son pote Gaël Honeger, Daniel Colliard (Cavernicoles) le pilier de Mirolda sans qui plus rien ne se ferait.

Pour les belges :

Jack London et Christophe Bandorowicz (C7-CASA) les trois premiers jours (faute de congés ceux-ci durent remonter plus tôt que les cinq autres), Nicolas Borchers (CSARI) et Richard Grebeude.

Au sommet du dernier ressaut avant le bivouac de-1000 - Cliché : J-C London





Ghar el Melh - Karst du sel (Pré-Pré - Maroc)

Alber DUBOIS
Spéléo Club Les Calcaires (SCC)
Club de Recherches Spéléo Ourthe Amblève (CRSAO)

Nous chercherons donc comme si nous allions trouver, mais nous ne trouverons jamais qu'en ayant toujours à chercher

De Trinitate, IX,1

Sel (en arabe) : melh (écrit ouvert mellah, melah)
En berbère du Rif : tissa, qui a donné le nom de la localité de Tissa
En berbère : tissint, qui a donné le nom de la localité de Tissint
Grotte (en arabe) : ghar

Le sel au Maroc Les montagnes, sources, oueds, lacs et croûtes de sel

Dans le Pré-Pré, on trouve quelques collines de sel dénommées couramment « montagnes de sel » comme ici à Tissa, la plus connue de toutes. Elles sont associées notamment avec du gypse, des argiles et des masses d'ophite. Notamment, à 35 km à l'ouest de Fès il y a une montagne de sel haute de 100 m dans la région des oueds Mellah et de Mikkes aux djebels Aïcha Mgoutaya et d'Hajra el Belboul (ce dernier est un splendide piton d'ophite). Cette région a une morphologie typique du karst du sel, avec diverses formes de dolines, parfois prolongées par de petites grottes. Moins connu, l'affleurement de l'Oued Amlelil, à l'ouest de Taza, est exploité en partie en galerie pour y extraire le sel gemme, parfois il recristallise, ce qui lui confère son aspect vitreux. Un autre affleurement de sel se trouve au nord de Tissa, à Ain-Aïcha, dans le Moyen Atlas, apparaît à la surface aux environs du Douar Chaat Malha, près de Boulemane où il est également exploité en souterrain.

Situation

Située dans le Pré-Pré au nord du Rif, à 40 km au nord-est de Fès dans la Province de Taounate, la Ghar el Melh s'ouvre sur un versant nord-est du Djebel Tissa¹, à 1.500 km du centre urbanisé de la commune de Tissa, dont l'ancienne appellation est Souk-el-Arba-de-Tissa².

La région est habitée par la tribu des Beni Ouamoud dans le pays Hayayna³ qui a remplacé, entre 1540 et 1610 sous les Saadiens, la population berbère des Sanhajjas.

La grotte se situe au niveau de la plaine alluviale de l'Oued Lebène⁴ (affluent du fleuve Oued Sebou), et est incluse dans la saline appartenant à Messieurs Mounir Ahmed et Mohamed (père et fils), de Fès. L'Oued Lennsar contourne le Djebel Tissa par l'ouest.

Au Maroc, on dénombre au moins une vingtaine de formations diapiriques (Fedan, 1987). Beaucoup d'autres affleurements salifères, plus discrets, sont visibles à l'air libre. Mais aussi nombreux sont les massifs - dômes de sel - cachés par la couverture de roche ou de sédiment, localisés grâce aux sondages et aux nombreuses sources saumâtres (récupérées parfois par les salines) qui alimentent les nombreux oueds dénommés melah. Citons encore, au sud du pays, en zone aride présaharienne et saharienne, les sebkhas (bassin ou cuvette d'eau salée souvent temporaire) et les croûtes de sel engendrées en général par la migration vers la surface d'eau chargée de sel par évaporation.

Géologie : Les séries sédimentaires salifères du Trias marocain se sont déposées sous un climat chaud, dans une mer pelliculaire et affectée d'une subsidence. Ces sédiments salifères se sont étalés sur les surfaces aplanies par l'intense érosion post-hercynienne lors de la transgression qui s'est amorcée au Carnien (Keuper) du Trias supérieur, il y a 205 millions d'années. Cette transgression, certes peu profonde, mais ayant recouvert la presque totalité du Maroc, pourrait correspondre au début de l'ouverture de l'océan Atlantique (El Amrani el Hassani, 1987). Consécutivement à l'ouverture de l'océan Atlantique, correspond la création d'une marge passive formant de nombreuses failles distensives. Celles-ci ont permis une certaine activité volcanique, donnant des roches basaltiques d'une puissance variant de 150 à 200 m, qui s'intercalent dans les séries sédimentaires triasiques (Charroud Mohamed, 2003).

Historique de la Ghar el Melh

- La première mention relative à cette grotte pourrait dater des années 1958. Elle est signalée sans topographie dans l'Inventaire Spéléologique du Maroc (page 38) publié en 1981 à Rabat. En voici un extrait, « Elle se présente comme une rivière souterraine d'une longueur de 230 m ».
- En 2003, après une visite assez brève, guidé par un ouvrier de la saline de Tissa, celui-ci me fit découvrir l'Affluent

de la Cascade dont la longueur estimée ne devait pas excéder 100 m. (Dubois, 2004)

- En 2004, du 19 mars au 3 avril, avec l'aide de Hicham El Khabaoui de Fès, au cours de 8 séances, nous avons exploré et topographié les diverses galeries, à savoir :

- La Galerie du Collecteur, 236 m
 - Affluent de la Cascade, 96 m
 - La Galerie des Canyons, avec désobstruction, 29 m
 - Les Passages des Galets avec désobstruction, 42 m
 - Quelques autres diverticules, 22 m
- Soit un développement total de 422 m.

1. La population de Tissa était de 7.059 personnes en 1994.

2. Souk-el-Arba-de-Tissa = Marché-du-4^{ème}(jour)-de-Tissa = Marché-du-mercredi-de-Tissa.

3. Les Hayayna sont réputés pour l'élevage des chevaux Berhir, et pour leur fantasia.

4. Lebene = « petit lait ». En période de crue, l'eau de l'oued Lebene prend une teinte laiteuse à cause du charriage d'argiles et de marnes blanches.

Le site de la montagne de sel de Tissa

La montagne de sel de Tissa s'étire sur 2 km de long pour un de large. Sur son flanc ouest, on trouve une proéminence à la cote de 270 m d'altitude. A l'est, au Marabout Sbaa ou Rjel⁵ l'altitude est de 312 m. Son originalité réside dans le fait que le sel ne se trouve plus incliné dans la succession des couches géologiques en rapport avec la période de leurs dépôts, mais provient de zones profondes et a été déplacé jusqu'à la surface par diapirisme.

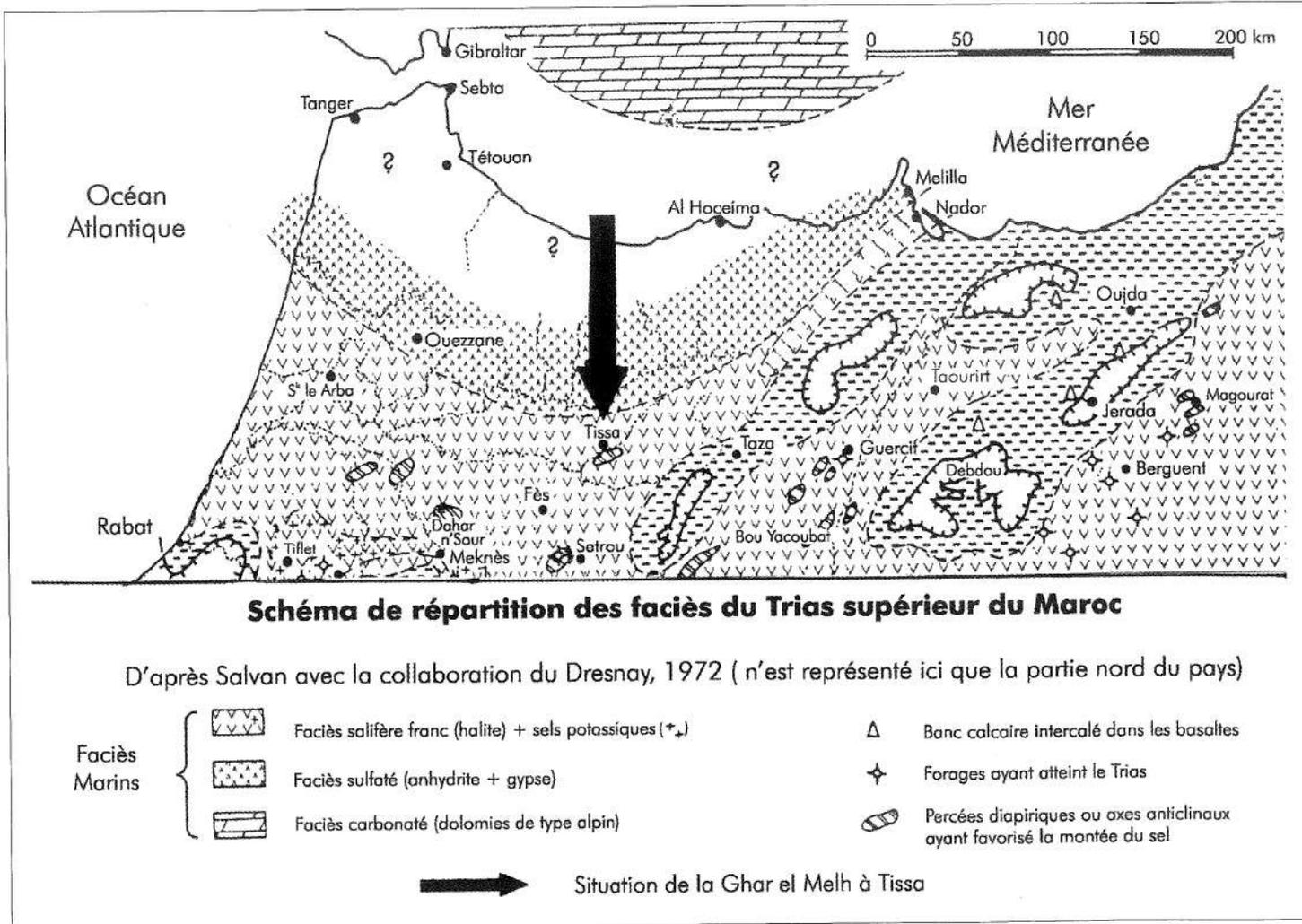
Sous un cap-rock (voir l'encadré - Les diapirs) argilo-gypseux, la colonne diapirique a entraîné des ophites⁶. On trouve un piton d'ophite au sud est de la montagne; un bloc de cipolins⁷ blancs entièrement recristallisés (d'après Jaillard, 1984) d'âge jurassique (extrémité SW) et de rares schistes primaires (Michard, 1976), (voir l'encadré sur la genèse des diapirs). La montagne actuelle n'est cependant que le témoin d'un massif de sel beaucoup plus vaste qui s'étendait sur

cinq ou six kilomètres. En effet, en aval de Tissa, immédiatement sous les terrasses de l'Oued Leben, apparaît le complexe rouge et salé. Et les rives de ce cours d'eau, jusqu'à trois kilomètres vers l'aval, montrent tous les éléments habituels, bordant le cirque de Tissa: pitons d'ophite, fragments de micascistes, calcaires jurassiques, marnes grises et bariolées salifères. Le relief restant visible, cette montagne de sel de couleur rouge vif, contraste violemment avec les coteaux blancs éocènes environnants (Lacoste, 1934). Seule sa limite septentrionale, la seule bien visible, rectiligne sur 1600 m, serait d'après Jaillard (1984), un contact par faille.

La montagne est sujette à l'érosion, on peut y voir de nombreux ravins et des effondrements de parois. Plus particulièrement, elle est soumise à une intense dissolution (la solubilité du sel dans l'eau peut atteindre 359 g/litre à 20° selon Nicod, 1992). La surface de la montagne est recouverte, notamment, d'argile rougeâtre issue du cap-rock. Cette couverture imperméable

protège en partie le sel sous-jacent de la dissolution. En surface, on trouve quelques petites dépressions remplies d'eau et d'autres sans, dues probablement à la suffosion ou à la dissolution du sel sous-jacent. Cette surface argileuse est percée de nombreuses dolines, certaines dépassant 20 m de profondeur, atteignant les couches de sel. Parfois, ces dolines sont prolongées par un conduit pénétrable.

La pluviométrie y est importante, avec 557 mm/an (calculée pour la période 1925-1949 à la Station d'observation de Tissa, 240 m d'altitude)⁸. Cette pluviométrie importante est d'autant plus active pour entraîner la dissolution de la montagne de sel, laquelle n'aurait pas pu émerger à la surface du sol si elle n'était pas sujette à un rehaussement continu. La vitesse d'ascension de la masse de sel d'un diapir (Perthuisot, 1991), peut-être importante à l'échelle géologique, est en moyenne de l'ordre du millimètre par an ou du kilomètre par million d'années.



5. Le marabout Sbaa ou Rjel (d'après la carte au 50.000 de 1965), équivalence : Sabâto Rijel = les Sept Hommes. Dans la tradition, on raconte que c'est un lieu saint où habitaient sept Saints descendants du Prophète.
6. L'ophite est une roche éruptive, c'est une dolérite à éléments de feldspath de forme allongée et entrelacées entre elles.
7. Le cipolin est un marbre contenant des impuretés (argile) donnant naissance à des lits micacés ou serpenteux.
8. A titre comparatif : plus de 700 mm par an au diapir karstifié de la Meledic en Roumanie (d'après Geografia României, 1995), ce qui est loin d'une pluviométrie de zone aride comme celle du diapir karstifié du Mont Sedom en Israël avec 32 mm par an (Hallot, 1998-1999).

Genèse des diapirs 1-2-3

Deux propriétés particulières des séries salines sont la cause de ces phénomènes que sont les diapirs.

1- La haute plasticité des séries sous pression et à température élevée, vers les 100° mais mieux encore vers les 300°, pour un enfouissement important (de 5 à 10km ?), rend possible le fluage.

2- Leur faible densité par rapport aux sédiments couvrants qui favorise l'ascension à travers les couches supérieures plus denses (poussée d'Archimède). Le fluage se fait souvent à la faveur de failles ou d'une irrégularité topographique locale (Hallot 1998-1999).

Diapir ou « Anticlinal à noyau disharmonique perçant, c'est-à-dire un anticlinal dont les couches ne sont pas parallèles, mais dans lequel les couches du noyau sont redressées et pénètrent comme un coin dans la voûte tandis que les couches des flancs, glissant sur le noyau, perdent de leur inclinaison au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'axe du pli. Par ce glissement, il se produit en général un étranglement à la base du noyau, qui prend ainsi la forme d'un champignon ou d'un chou-fleur. » (Perthuisot, 1991) (Voir ci-dessous).

Diapir du Gypse ou anhydrite

La transformation de l'anhydrite en gypse permet d'obtenir une mixture parfaitement plastique, à une température beaucoup plus basse que celle qui est requise pour la plasticité de NaCl. C'est pourquoi les diapirs de séries gypseuses sont aussi communs et d'origine moins profonde que les diapirs de sel gemme (Heard & Ruby, 1966)

Cap-rock

Zone située au sommet d'un diapir de sel et formée de résidus de dissolution (voir ci-contre).

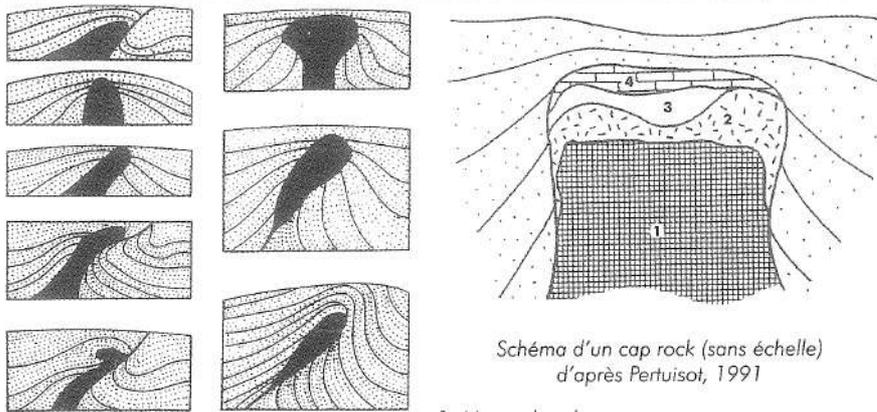


Schéma d'un cap rock (sans échelle)
d'après Perthuisot, 1991

Quelques types de diapirs
selon Mrazec, 1915

- 1- Masse de sel
- 2- Formation résiduelle sulfatée, en grande partie de l'anhydrite
- 3- L'anhydrite est localement hydratée en gypse
- 4- Des carbonates résultant de la réduction des sulfates peuvent couronner le tout

- 1. Terme défini par Mrazec en 1907. Tiré du grec, dia = percer
- 2. Diapirisme son synonyme propre aux évaporites est l'halocinèse.
- 3. Ceux qui veulent en savoir plus, consulté l'intéressant Mémoire d'Eric Hallot (voir bibliographie).

La saline

Deux productions différentes :

1- Le sel est arraché directement du massif, les caillots salés sont broyés et donnent le sel gemme.

2- Le sel alimentaire (avec ajout d'iode) et industriel dit d'évaporation. Ce procédé débute en mai et se termine fin septembre. Il se déroule de la manière suivante : l'aide de l'eau d'un lac artificiel et de puits, conduite par des pompes vers la montagne du gisement de sel, au travers de tubes galvanisés, formant des jets. L'eau salée, mélangée avec de l'argile (7% d'insoluble), ruisselle du massif et est dirigée vers les bassins de dissolution, de décantation et d'évaporation. La production totale annuelle est d'environ 20.000 tonnes. Le front d'exploitation de la saline regorge de splendides concrétions et de cristaux créés par la dissolution par aspersion du massif de sel. Notamment des stalactites telles des anémolites, stalactites bifides blanches formées de cristaux cubiques emboîtés dont certaines montrent les dendrites de croissance des cristaux (photo n°1). On trouve également des stalactites de teintes variées, orange, jaune, certaines jaune virant au vert ainsi qu'une multitude de cristaux parfois de tons orangés. Les cristaux les mieux formés sont blancs. Dans la masse de sel en place, on trouve des lapiés aigus, des lames verticales acérées sculptées par la dissolution causée par l'eau tombée verticalement au départ de surplombs.

Photo n°1 : Stalactites rectilignes obliques blanches formées par emboîtements de gros cristaux de sel cubiques. A l'extrémité des cristaux en formation, des dendrites de croissance. - Cliché : A. Dubois

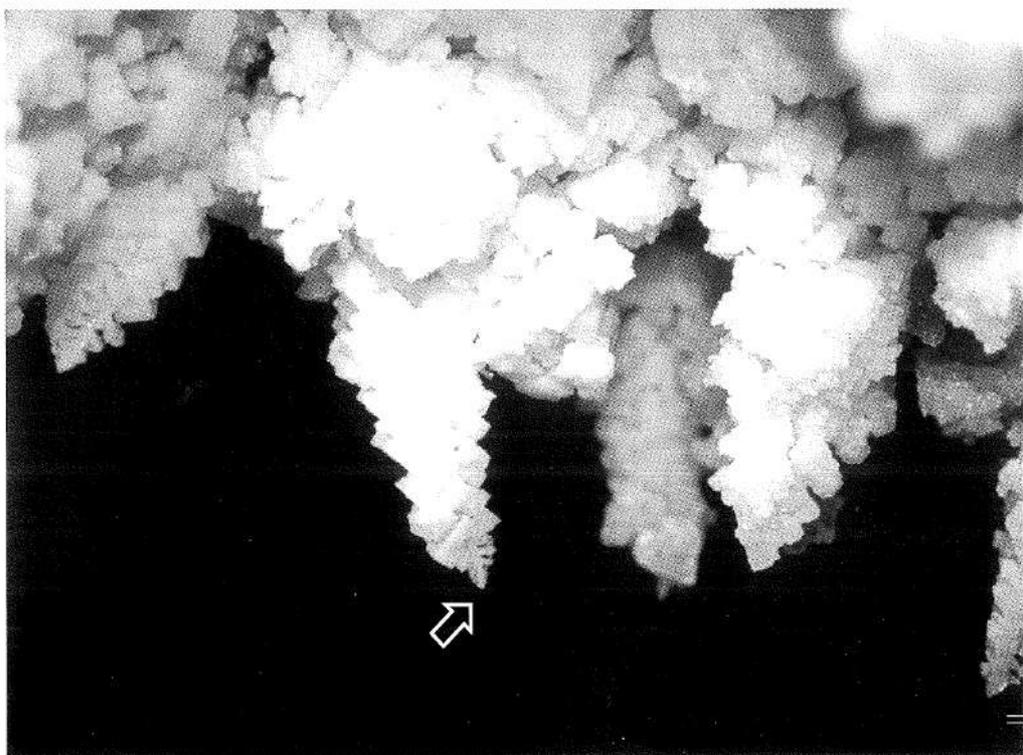




Photo n°2 : Entrée de la grotte surplombant la résurgence de 3-4 mètres - Cliché : A. Dubois

Description de la Ghar el Melh

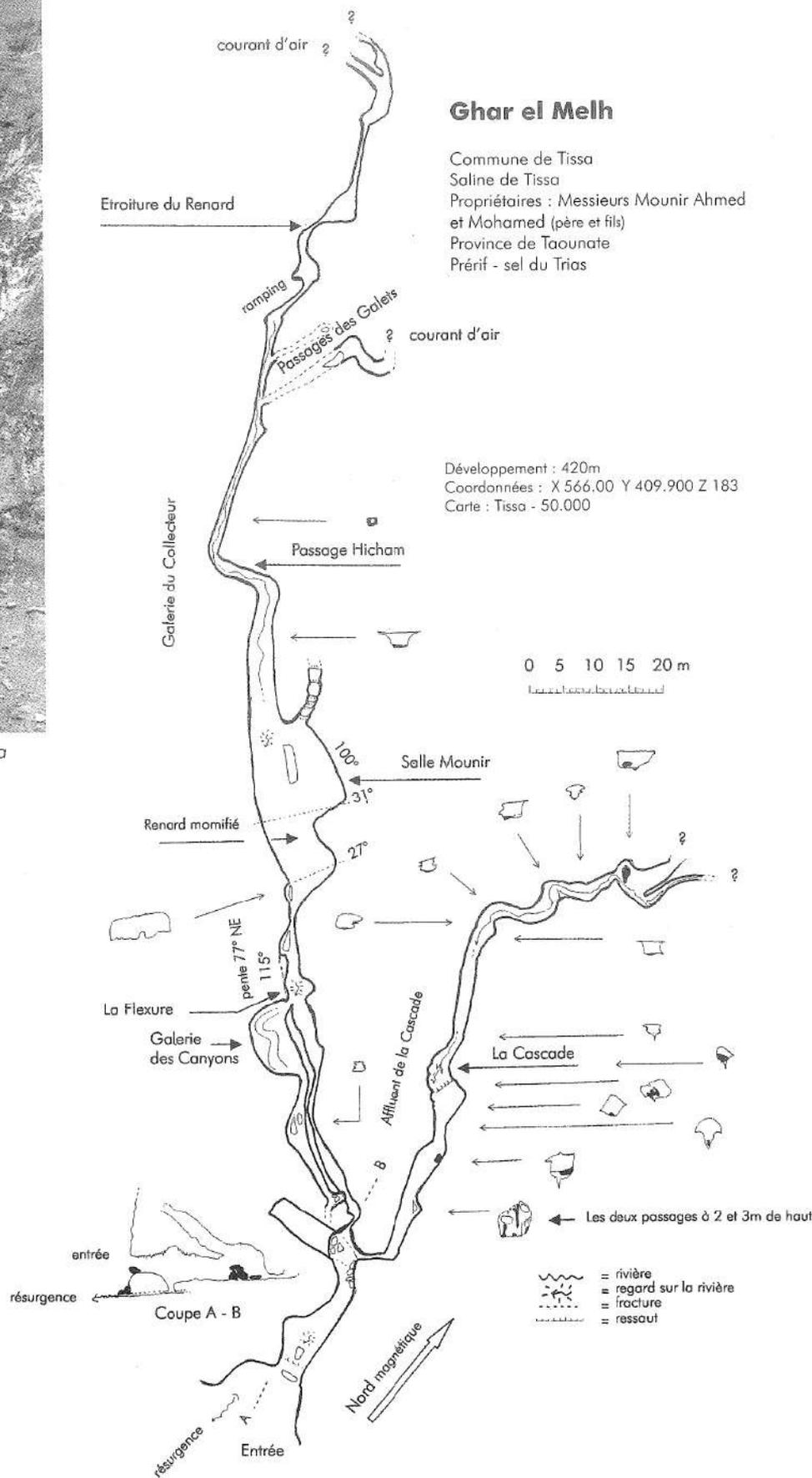
L'entrée

La résurgence⁹ de la grotte est située à environ 180 m d'altitude, sensiblement au même niveau que la plaine alluviale de l'oued Lebene, en rive droite, sur le versant Sud-Est du djebel Tissa, au fond d'une échancrure creusée et éboulée dans la falaise. (photo n°2)

L'entrée de la grotte est située à 3 ou 4 m en aplomb de la résurgence. Son seuil est rehaussé par des accumulations d'argile salifère provenant d'éboulements du versant extérieur surplombant le porche¹⁰. Dans la galerie faisant suite, le seuil redescend de plusieurs mètres. Le premier regard sur la rivière se situe à environ 6 m de l'entrée. Il est en forme d'entonnoir assez raide d'environ 3 m de diamètre, pour 2,50 m de profondeur. Le pourtour inférieur de l'entonnoir surplombe de seulement quelques centimètres le niveau d'eau

9. Le débit constaté au cours des mois d'avril 2002 et 2003 est faible, il est d'environ 0,5 l / seconde.

10. L'entrée représente la zone la plus évolutive et donc la plus instable de la cavité. A l'extérieur, elle est soumise à l'érosion et à la dissolution pluviale. L'air pénétrant dans le porche en période chaude se condense sur les parois plus froides, le sol se gorge d'eau pour devenir boueux et couler le long de la pente. Ces effets cumulés peuvent, d'une année à l'autre, engendrer l'obstruction de l'entrée. En Roumanie, dans la province de Prohova, Ica Giurgiu et son équipe, après avoir exploré et topographié le 13 septembre 1980 la Pesteră 6 S de la Meledic (ex record du monde avec ses 1256 m), constatèrent, le 25 octobre de la même année, que l'entrée de la grotte était bouchée par un effondrement massif de 100 m³. (Giurgiu 1985) En 1999, nous avons eu l'occasion de visiter une petite grotte-résurgence dans le sel située à la Meledic. L'année suivante, l'entrée était complètement obscurcie par le glissement d'un pan oblique du versant de la vallée, seule l'eau de la résurgence avait réussi à traverser cet éboulement. Ce n'est qu'à l'aide d'une photographie de ce versant, faite l'année précédente, qu'on a pu identifier le site. Dans cette région, avec plus de 700 mm de pluie par an, les changements dans la morphologie externe et interne de ce karst de sel sont grandement accélérés !



Ghar el Melh

Commune de Tissa
Saline de Tissa
Propriétaires : Messieurs Mounir Ahmed
et Mohamed (père et fils)
Province de Taounate
Préif - sel du Trias

Développement : 420m
Coordonnées : X 566.00 Y 409.900 Z 183
Carte : Tissa - 50.000

de la rivière et est impénétrable. Ce type de regard se répète 4 fois dans le réseau. Le plafond est surchargé de petites stalactites blanches de sel (voir photo n°1) formées par les emboîtements de gros cristaux cubiques, ayant une de leur pointes orientée vers le bas et une autre vers le haut. On peut observer sur le plafond des concrétions obliques à environ 45° par rapport à la verticale. Certaines sont des bifides, c'est à dire des stalactites dédoublées avec un angle d'environ 45° entre les deux branches (voir l'encadré Spéléothèmes - p26). Certains cristaux en formation ont, à leur extrémité, des formes squelettiques de cristaux ou dendrites de croissance, de quelques millimètres de longueur et de largeur (photo n°1). A 15 m de l'entrée, dans le plafond, une petite galerie d'une dizaine de mètres de long, remonte selon un axe Est-Ouest. Au fond du porche, dans la pénombre, on observe au plafond, à moins de deux mètres de haut, une colonie de chauves-souris de 200 ou 300 individus, peut-être en cours de gestation en cette fin de mois d'avril. Il s'agit probablement de Petits Murins. Le lendemain de l'observation, ils s'étaient tous déplacés de deux mètres, mais toujours sur le même plafond.

Galerie de l'Affluent de la Cascade

Peu avant le fond de la galerie d'accès, à droite, dans une paroi blanche et couverte d'une croûte avec des proéminences en forme de choux-fleur, un petit boyau débouche dans une petite galerie fossile joliment ornée de stalactites anémolites (terme utilisé par Giurgiu, 1985 pour désigner les concrétions courbées par

l'intervention d'un courant d'air) obliques et blanches et de stalactites rectilignes (voir l'encadré Spéléothèmes - p26). Une coulée est colorée d'un dégradé de tons brunâtres par du guano de chauves-souris. Une courte escalade permet d'atteindre une des deux lucarnes qui précèdent la galerie de l'Affluent de la Cascade. (photo n°3) Sur les vingt premiers mètres, la galerie a été creusée par la rivière qui circule actuellement dans un réseau inférieur. Le plancher de la galerie fossile est incisé en son centre par un sillon étroit impénétrable, la hauteur restante du sol au plafond varie de 1,20 à 1,40 m seulement. Les deux côtés de la galerie sont pourvus de banquettes (voir les coupes des sections de la galerie sur la topographie). Une petite chute d'eau tombe de quelques mètres dans une petite dépression, du fond de laquelle l'eau se dirige vers l'Ouest. Sur les parois du pourtour de la dépression, se trouvent de nombreuses stalactites à empilement monocristallin, blanches, opaques ou translucides, souvent étirées, (une stalactite est décrite dans la figure n°1 - ci-contre). Certaines stalactites ont sur leurs cotés opposés à la chute d'eau, des beaux cristaux cubiques de sel emboîtés. D'autres stalactites présentent, par contre, sur leurs côtés exposés directement à la chute d'eau, une surface cristallisée plus plate.

En amont de la Cascade le fond de la galerie est incisé par un sillon étroit au fond duquel circule la rivière qui tend à établir un nouveau profil d'équilibre longitudinal entre l'amont et le fond atteint par la chute d'eau. (photos n° 4)

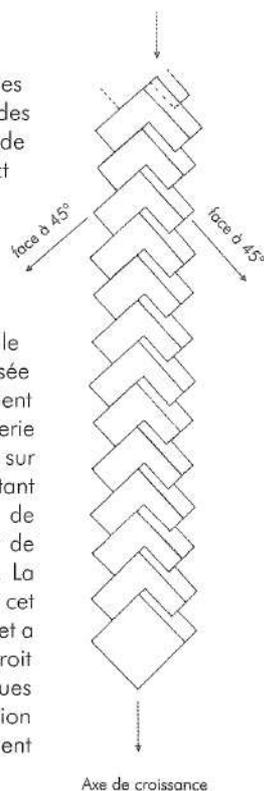
Plus loin, la morphologie de la galerie est différente : le sillon devient moins profond, puis la rivière circule sur un fond plat recouvert de sédiments fins. Ces derniers ralentissent la dissolution du lit de la rivière.

Plus loin encore, le sol de la galerie étant proche du niveau de base local, la dissolution du

sel ne se fait plus verticalement, mais latéralement et de larges méandres apparaissent.

Dans certaines courbes concaves, des amoncellements de sédiments d'aspect terreux d'environ 1,50 m d'épaisseur sont recoupés par le cours d'eau. Sur son parcours, on trouve une petite salle haute de 4 m, causée par un effondrement local. La galerie aboutit finalement sur un cône remontant et impénétrable de sédiments meubles et de blocs de sel argileux. La rivière a contourné cet obstacle par la droite et a formé un méandre étroit qui, après quelques mètres de reptation dans la saumure, devient impénétrable.

Figure 1
Schéma d'une stalactite à empilement monocristallin



La Galerie du Collecteur

Dans le fond de la galerie d'accès, à droite, la paroi est complètement tapissée de concrétions blanches : c'est là que débute la Galerie du Collecteur, précédée par une courte étroiture. Dans ce passage, on sent un courant d'air bien marqué. Juste après, à l'aplomb d'une paroi, des dépouilles décharnées de chauves-souris gisent sur le sol, la plupart sans tête. Est-ce un vestige de repas, prélevé sur des colonies installées à faible hauteur dans la galerie d'accès, par un carossier tel le renard ? Sur une paroi, des fils épars sont tendus, à proximité se tient une araignée noire. Le plafond se

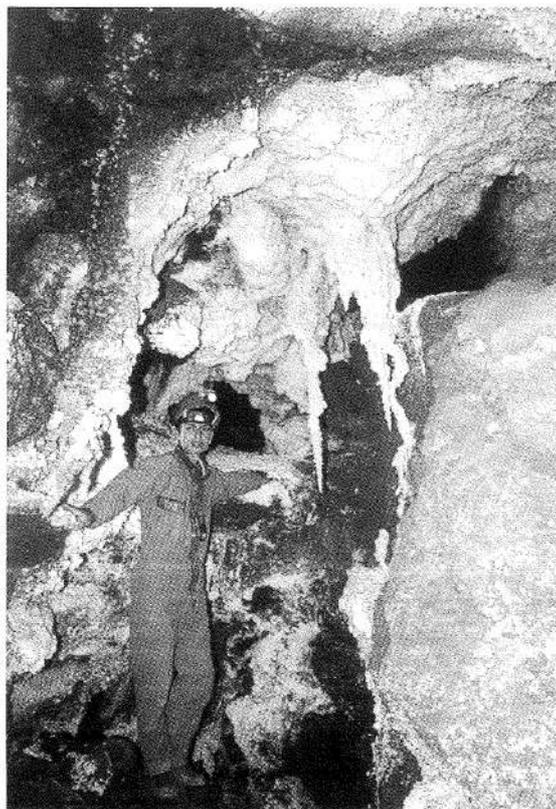


Photo n°3 : Au centre de la photo une stalactite verticale - Cliché : A. Dubois



Photo n°16 : Stalactite rectiligne oblique à 45° par rapport à la verticale et prolongée par un coude à 45°. - Cliché : A. Dubois

Photo n°5 : Zone tapissée de boursouffures de sel immaculé et d'aspect neigeux. Au plafond pendent des stalactites anémolites de teinte rouge orange - Cliché : A. Dubois

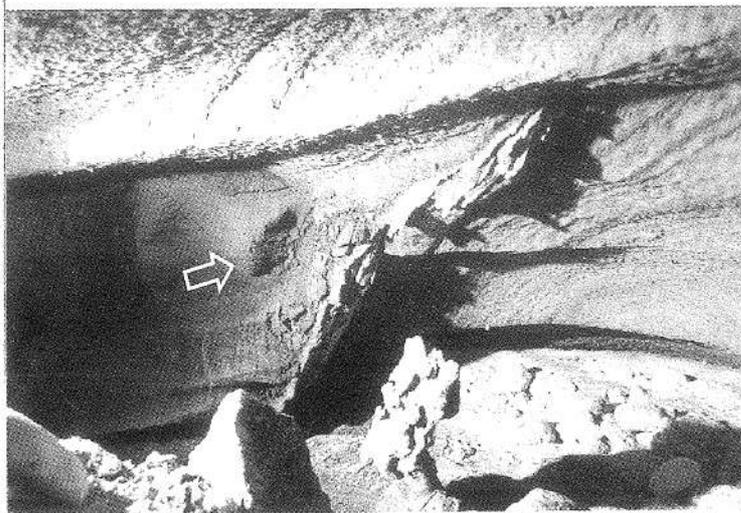
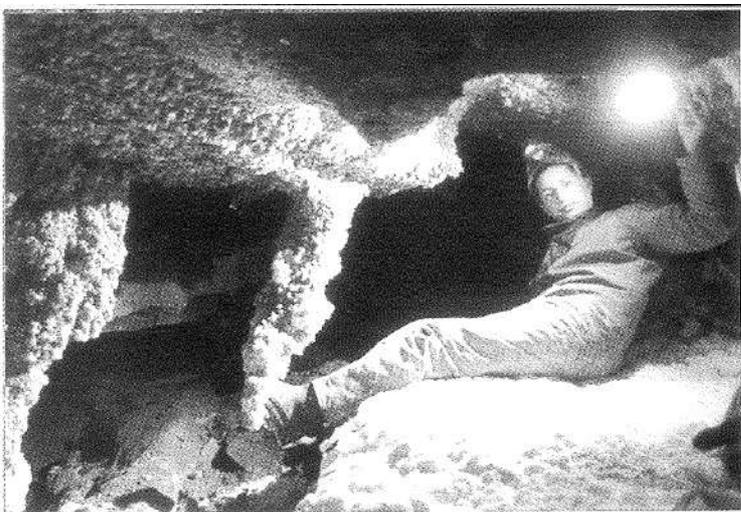


Photo n°6 : Inclusion massive de teinte brun-noir (indiquée par la flèche). - Cliché : A. Dubois

relève et, pour continuer, on doit se faufiler entre des gerbes immaculées de stalactites à cristallisation partiellement cubique. Elles penchent à la fois vers l'aval et vers l'amont de la galerie. Ensuite, sur une vingtaine de mètres, la galerie est large de 1 à 3 m pour une hauteur de 1,20 m minimum. La voûte, dépouillée de concrétions, laisse apparaître le fluage redressé, proche de la verticale, causé par la montée du diapir (voir l'encadré sur les diapirs - p19). On peut observer une succession ininterrompue de couches de sel argileux d'aspect mat, de ton brun, et de sel de couleur vert bouteille, à l'aspect vitreux. L'axe général de la Galerie du Collecteur suit assez fidèlement l'orientation du fluage. Plus loin, la galerie s'élargit jusqu'à 3 à 4 m pour aboutir à un carrefour. Son centre est occupé par un regard en forme d'entonnoir (comparable au premier décrit près de l'entrée, mais moins profond) au fond duquel coule un filet d'eau. Sur la paroi à gauche, au-dessus de l'entonnoir, suite à un effondrement on aperçoit en coupe fraîche un fluage plissé, produit probablement par une contrainte rencontrée au cours de l'ascension de la masse de sel. Dans ce fluage plissé, l'alternance des couches

direction sud-est, pour devenir parallèle à la Galerie du Collecteur. Aucune circulation d'eau ou de sédiment ne sont visible dans les parties basses. Ici et là des galets et des brindilles reposent sur un replat plus élevé proche de la voûte. Peut-être les canyons se sont-ils creusés au travers du replat lors de débordements, par engorgement de la Galerie du Collecteur à l'occasion de crues brèves mais importantes.

En progressant sur le replat, on traverse des zones tapissées de boursouffures d'aspect neigeux de sel immaculé. Puis, on aperçoit des stalactites anémolites massives de teinte rouge orange (photo n°5). Elles sont constituées par un agrégat de cristaux, leurs pointes parsèment la surface des stalactites, ou encore des concrétions blanches et boursouffées. Toutes ces stalactites sont fortement inclinées vers l'aval. Au plafond, le sel verdâtre contraste avec un groupe de bourgeonnements de sel rouge orange cette fois, prolongés par de nombreuses excentriques.

Sur une paroi à droite, dans le sel, il y a une inclusion massive d'environ 60 cm de diamètre, de teinte brune noirâtre et d'aspect granuleux, compacte et très dure. Il

s'agit d'un bloc de dolomie¹² (photo n°6) qui aurait migré avec le fluage du diapir.

A une dizaine de centimètres de ce bloc, on aperçoit sur la paroi, des fines strates subverticales de gypse (ou d'anhydrite) de quelques millimètres d'épaisseur. En face, séparé par un petit canyon, on trouve sur le replat un fragment en place de ces mêmes strates de gypse. Elles sont mises en relief par la différence de solubilité avec le sel.

La Galerie du Canyon se termine par deux passages : un passage remontant aboutit dans la Galerie du Collecteur à quelque 6 m du porche d'entrée, l'autre prolonge la galerie, il est descendant et étroit (non encore visité).

Salle Mounir

Vingt mètres en amont de l'entonnoir signalé dans la Galerie du Collecteur, la galerie se poursuit et est large de seulement 1 m au débouché de la Salle Mounir (nom des propriétaires de la saline et de l'emplacement de cette grotte) qui mesure 25 x 15 m.

La Salle Mounir prend naissance par deux élargissements successifs, le premier portant l'écartement des parois à 8 m et le second, 10 m plus loin, à 13 m. Ces élargissements correspondent à deux fractures ou failles sur des axes 27° et 31°N, qui montrent de belles coupes au travers du sel. Sur la cassure orientée à 27°, près de la paroi de droite, on aperçoit des stries légèrement courbes, globalement plus verticales que la stratification. Sur le sol, des gros blocs se sont détachés du plafond; ils font plusieurs mètres de long et de large sur plus d'un mètre d'épaisseur. A l'autre extrémité de la salle, à droite, une fracture ou faille à 280° N semble être à l'origine d'une galerie étroite, praticable sur un court trajet, encombrée de blocs d'éboulement, remontante d'abord sur quelques mètres, puis descendante.

Au centre de la salle, il y a un autre regard sur le cours actif et, à proximité, un amoncellement boueux de guano dégageant une odeur ammoniacale. A cette période de l'année, on n'observe ici aucune chauve-souris. L'air semble plus chaud dans les parties hautes de la salle : 21° et 48% d'humidité¹³.

Sur un versant en pente gît une dépouille de renard encore recouverte de sa peau mais dépourvue de sa fourrure, à l'exception de ses moustaches. L'arrière-train a subi une torsion; la dépouille semble avoir migré

11. Sel vert = sel ferreux. Sel rouge = sel ferrique (Moret, 1962)

12. Des fragments ont été prélevés et identifiés au microscope, par C. Ek, il s'agit de petits cristaux d'environ 100 microns = 1/10 de mm de diamètre, de dolomite translucide colorée par de l'oxyde de fer.

13. Du point de vue thermique, la moyenne annuelle est de 19°, mesure faite dans la région de Taounate à 350m d'altitude.

d'une terrasse positionnée un peu plus haut (nous sommes ici à 80 m de l'entrée).

Galerie du Collecteur (suite)

Passage Hicham

Après la Salle Mounir, la Galerie du Collecteur présente, sur une distance de 30 m, une section large d'abord de 5 m pour se rétrécir ensuite à 2 m. Elle est parcourue par la rivière; ici et là, des galets et de petits fragments d'ophite qui ont pris une couleur bleu-clair par altération.

Sur ce parcours appelé Passage Hicham (prénom de mon coéquipier), se trouve un ensemble de splendides stalactites inclinées vers l'aval. Leur support et leur alignement correspondent à une tranche de strate verticale, sur laquelle bourgeonne un sel de teinte noire ou grisâtre à reflets métalliques. Les bourgeoisements sont prolongés par des stalactites massives faites d'un agrégat de cristaux avec de gros pointements. Leur teinte est, soit blanc orangé et translucide, soit rouge orangé et opaque.

La galerie se poursuit en ligne droite sur environ 40 m, on peut y voir des anémolites. (photo 7)

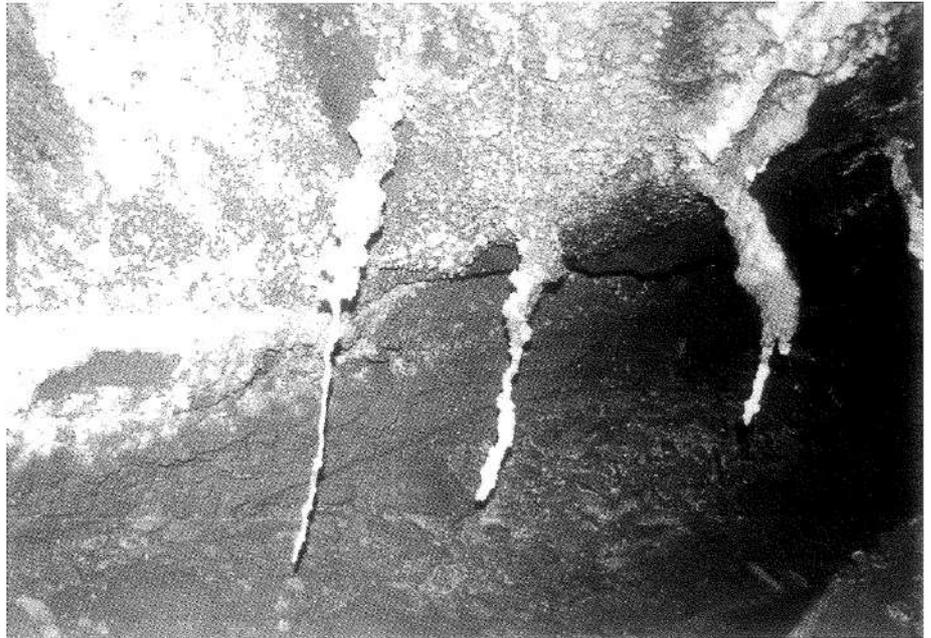


Photo n°7 : Anémolites inclinées ou courbes. - Cliché : A. Dubois

Passages des galets

Sur le côté droit de la Galerie du Collecteur se trouvent deux petits affluents nommés Passages des Galets. Le premier passage aux parois raides est un conduit bas, l'affluent ayant incisé verticalement la masse du remplissage de galets allochtones¹⁴. Le plafond de sel est très bas, d'où la nécessité de progresser par reptation sur les galets, mouillés par la circulation d'air saturé en eau. Quinze mètres plus loin, on débouche dans une petite galerie basse et sinueuse creusée entièrement dans le massif de sel. Ensuite, les parois s'élargissent et disparaissent de nouveau dans le remplissage de galets. On perçoit nettement un courant d'air, une désobstruction pourrait y être envisagée.

Le deuxième passage, de dimensions encore plus restreintes, se termine en cul-de-sac dans les galets.

Galerie du Collecteur (suite et fin)

Dans une courbe de la Galerie du Collecteur, à droite, une souche d'arbuste, munie de ses racines et emmenée à cet endroit par une crue de la rivière souterraine, est coincée entre le talus d'alluvions et le plafond.

Plus loin, dans un rétrécissement situé à quelque 175 m de l'entrée et dans lequel il faut progresser en rampant, nous avons aperçu un renard, dont les yeux scintillaient dans l'obscurité. Curieux, il semblait être venu à notre rencontre. Une vingtaine de mètres plus loin, on atteint une petite salle, encombrée par un cône de sédiment sableux meuble et sec, criblé d'empreintes de pattes

de renard. Le cône est remontant et atteint par endroits le plafond où subsistent encore quelques espaces suffisamment hauts pour le passage des renards. Un courant d'air y est perceptible, un élargissement permettrait

peut-être d'atteindre l'orifice extérieur emprunté par ces animaux. La rivière semble avoir préféré contourner, par la droite, le cône sableux, par un minuscule boyau qui devient rapidement impénétrable.

Spéléométrie mondiale des grottes dans le sel

	Situation	Cavités	Développement
Afrique	Algérie	Grotte S8 (Delfa) (1)	282 m
	Maroc	Grotte Ghar El Melh (Tissa) (5)	422 m
	Namibie	On y signale une ou des grottes	?
	Tunisie	On y signale une ou des grottes (3)	?
Amérique	Chili	On y signale des grottes (3)	250 et 500 m
	Etats-Unis	Région de la Mammoth Cave (4)	?
Asie	Israël	Grotte de Malham (1)	5.685 m
		Grotte Sedom (1)	1.799 m
	Iran	Grotte Tri Nahacu (2)	5010 m
	Syrie	On signale des grottes (3)	?
	Tadjikistan	Diverses grottes (3)	de 300 à 2.500 m, -120 m
Europe	Espagne	Cova dels Meandres de Sal (9)	4.300 m, -187 m
		Grotte Forat Micó (8)	650 m
	Pologne	2 grottes dans la mine de Wieliczka (6)	quelques mètres
Roumanie	Grotte 6 S de la Minzalești (1) (7)	3.234 m	

Sources :

- (1) Chabert Cl., Courbon P., 1997
- (2) Bruthans J., 2002
- (3) Bosak P., Bruthans J., Filippi M., Svoboda T., Smid J. - 1999
- (4) Kliebhan B., 2003
- (5) Dubois A., 2004
- (6) Informator Turystyczny, 1958 ?
- (7) Giurgiu Ica, 1985
- (8) Ek C., 1998
- (9) Ferran Cardona O., 2003

14. Ces galets, comme les autres rencontrés dans la grotte, proviennent d'une ou de plusieurs terrasses anciennes de la rivière aérienne du Lebene. Il n'est pas exclu que ces terrasses n'aient pas localement été rehaussées par la montée du diapir. Ils ont pénétré dans la grotte par les dolines qui parsèment la montagne de sel.

Remerciements

- Albert Briffoz, pour ses conseils à la rédaction de cet article.
- Mohamed Charroud de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.
- Michel Dethier, pour sa grande disponibilité, ses conseils à la rédaction de cet article et les traductions d'article en anglais.
- Camille Ek pour les renseignements scientifiques et son analyse minéralogique.
- Eric Hallot, pour ses précieux renseignements tirés de son mémoire concernant les grottes de sel du Mont Sedom.
- Jacques Sabatier, délégué FFS pour le Maroc.
- Roger Van Devinne, pour ses conseils à la rédaction de cet article et sa documentation.
- Luc Willems, pour ses éclairages scientifiques.
- Ahmed et ses amis du Prérif de l'asbl Anual de Droixhe à Liège, Belgique.

Bibliographie

- Bétékhtine A. - 1968 - Manuel de minéralogie descriptive. Edition de Moscou
- Blondieau M. - 1995- Minéraux et Fossiles de la région de Rochefort, Han-sur-Lesse et de ses environs.
- Bosak P., Bruthans J., Filippi M., Svoboda T., Smid J. - 1999- Karst and caves in salt diapirs SE
- Zagros Mts (Iran), Acta Carsologica (Ljubljana), 28/2, p 41-75
- Bruthans J., Filippi M., Smid J., Palatinus L. - 2002 - Tri Nahacu and Ghar-e Daneshyu Caves (Iran), International Caver 2002
- Camus J., Lamouroux C. - 1981- Inventaire Spéléologique du Maroc. Minist. L'Équipement, Maroc
- Chabert Cl., Courbon P. - 1997 Atlas mondial des grottes en roche non calcaire
- Delmer A. - 1979 - Hydrodynamique de la nappe aquifère du calcaire carbonifère en Hainaut. ASGB T 102
- Dresch J., Gigout M., Joly F., Le Coz J., Raynal R. - 1952 - Aspects de la géomorphologie du Maroc. XIX^e Congrès Géologique International en Algérie de 1952, Monographie régionales 3^e Série.
- Dubois A. - 2004 - Ghar el Melh, Prérif, record d'Afrique ? Regards n° 55, p 30-31.
- Dubois A. - 2004 - Compte rendu d'activité - SCC. Rapport inédit.
- Ek C. - 1963 - Mécanisme de la sédimentation de l'assise de Montfort entre Esneux et Tavier. AGB, 86
- Ek C. - 1998 - Les phénomènes karstiques. Cinquième édition. Notes de cours.
- El Amrani el Hassani - 1987- Grande Encyclopédie du Maroc - T 3 Géographie physique, Rabat
- Ferran Cardona O. - 2003 - Espeleo Cat, Federacio Catalana d'Espeleologia. Espagne
- Foucault A., Raoult J-F. - 1995 - Dictionnaire de géologie. Masson, Paris
- Frumkin Amos - 1997- Classification and some morphometric features of salt caves (Mount Sedom International Union of Speleology- Suisse, 12^e Inter. Congr. of Speleology.
- Giurgiu Ica - 1985 - Grottes du sel de Roumanie, Spelunca 20, p34-39
- Giurgiu Ica - 1985 - Pesteri in Sare din Subcarpatii Vrancei, Institutul de Speologie « Emil Racovita»
- Gulinck M. - 1969- Observations sur la salinité des eaux artésiennes de la Belgique. Bull. Soc. belge Géolo., Paléont., Hydrol. T 78, pp 155-158
- Hallot Eric - 1998-1999- Karst dans les évaporites: exemple du Mont Sedom - Israël. Université de Liège. Faculté des Sc. Sc. géographique. Mémoire
- Hallot Eric - 1999 - Karst dans les évaporites : marqueur efficace des événements récents. L'exemple du Mont Sédom (Israël), Bulletin Société Géographique de Liège, vol 37, 1999/2
- Hil C., Forti P. - 1997 - Cave Minerals of the World, National Speleological Society, USA, 463 p, Informator Turystyczny - 1958 ? - Mines de sel de Wieliczka, Pologne
- Jaillard Luc - 1984 - La « montagne de sel de Tissa » . Estimation au vue des réserves. Cabinet Jaillard, Conseil en Exploration Minière Rabat-Soussi.
- Kliebhan B. - 2003 - Inschrift von Edouard Alfred Martel aus dem Jahre 1912 in der Mammoth Cave (Kentucky) entdeck. Die Höhle, heft 4-54, p 98-104.
- Koninck L.L. (de) - 1897 - Sur le chlorure de sodium du terrain houiller, SGB, n° 24
- Lazarev G. - 1966 - Structures agraires et grandes propriétés en pays hayaina (Prérif), Revue de Géographie du Maroc, n° 9
- Lacoste Jean -1934- Etudes géologiques dans le Rif méridional, tome 1 Notes et Mémoires du Service Géologique Maroc, n°31 et 31 bis, tome 1-2, p 67
- Lohest M., Habets A., Forir H. - 1903 - Etude géologique des sondages exécutés en Campine, SGB, n° 30, 1
- Lohest M., Sur un échantillon de halite découvert au charbonnage de la Haye (Liège), SGB, n° 21, XCIII, 1893
- Lohest M.. Sel gemme au charbonnage de Beeringen, SGB, n° 30, 1903
- Marteau A. - 1997 - Les concrétions des grottes. Le Règne Minéral, n° 16 juillet - Août.
- Martel E. A. - 1913 - Explications sur Mammoth Cave. Spelunca n° 74
- Melon J., Bourguignon P., Fransolet A.M.- 1976, Les minéraux de Belgique, Institut de Minéralogie - Univ. de Lg. Edit. G. Lelotte, Dison
- Michard A. - 1976 - Elements de géologie marocaine, Service géologique du Maroc, Notes et Mémoires du Service Géologique N° 252
- Michot P - 1980 - Introduction à la géologie générale. 26^e Congrès Géologique International.
- Moret L. - 1962- Précis de Géologie, p 222, 1962
- Nicod J. - 1962 - Recherches nouvelles sur les karsts des gypses et des évaporite associées, (première partie : processus et cavernement, Karstologia n°20, p 1-10, uniquement une photo de la saline de Tissa.
- Perthuisot V. - 1991- Diapirs et halocinèse, comment les évaporites refont surface, Géochronique, n°40
- Poty E., Chevalier E. - 2004 - L'activité extractive en Wallonie, page 55. Région Wallonne, Aménagement-Environnement.
- Prinz W. - 1908 - Les cristallisations des grottes de Belgique. Société Belge de Géologie, Série in-4°, 1908
- Société Maroc Sel,- 1996- 2000- Dossier de société, mine de sel de Tissa, province de Taounate.
- Université de Liège - 2003 - Complément de pétrologie sédimentaire, ULG - http://www.ulg.ac.be/geolsed/sedim/compl_sedim.htm

Les évaporites en Belgique¹

Le sel gemme (halite), le gypse² ou /et l'anhydrite³ et des dolomies primaires⁴

Sel

La Belgique ne possède pas des couches de sel de quelque épaisseur susceptibles de contenir un karst de sel. Même les sondages profonds se sont avérés négatifs. Seul quelques traces ou petits dépôts existent :

- A Eelen en Campine, un sondage à recoupé dans le Muschelkalk (Trias) des cavités cubiques qui pourraient correspondre à des cristaux de halite (sel) dissout (Lohest et al., 1903).
- Dans plusieurs charbonnages ont été rencontrés des incrustations de chlorure sodique, parfois sous forme de stalactites, sur les boisages des galeries ou sur la roche (Lohest, 1893; Lohest et al., 1903; Lohest, 1903).
- Dans l'ancienne mine de charbon à Waterschei en Campine, vers 800 ou 900 m de profondeur, nous avons observé des stalactites de sel (vers les années 1970).
- Du sel dilué dans des nappes captives du nord du pays (zones sous les provinces d'Anvers et du Limbourg (Gulinck, 1969).

Gypse, anhydrite

- A Saint-Ghislain près de Mons, un sondage profond a traversé de 2410 à 2680 mètres de profondeur un aquifère karstique dans l'anhydrite du Viséen, et fournit une eau chaude de 66° à la surface (Delmer, 1979).

On trouve du gypse par néoformation, il est souvent cristallisé, notamment :

- Avec les minerais marcssiteux, notamment à Heure et Durbuy, ou encore à Visay (On).
- Dans la grotte de Rochefort (Blondieau, 1995).
- A Villers-aux-Tours, dans une galerie de captage d'eau dans du grès du Famennien inférieur, des nodules

calcaires contenant de la pyrite dont la décomposition a permis la cristallisation de gypse sous la forme d'aiguilles millimétriques (Dubois, 2004).

- Il a été observé par sondage, dans des marnes keupériennes à Neeroeteren et dans des schistes du Givetien (Melon et al, 1976).
- A Tongres et Bilzen, dans du sable ou de l'argile du Tongrien supérieur, des cristaux de gypse ont été observés.

Gypse et/ou sel

Des traces de semblables dépôts évaporitiques, maintenant disparus, sont largement répandus dans les bassins de Namur, de Dinant et de la Vesdre. Notamment sous la forme des très nombreuses brèches viséennes qui sont interprétées comme des brèches d'effondrement résultant de la dissolution des anhydrites intercalées dans les calcaires (Mamet et al., 1986). Dans le Viséen, la Brèche de l'Ourthe (~40 m) (Université de Liège, 2003) est composée de fragments anguleux centimétriques à pluri-décimétriques de roches calcaires, causées par effondrement suite à la dissolution de niveaux sous-jacents de roches solubles tel le gypse (Poty, et al. , 2004).

Dolomie (primaire)

Seule la dolomie primaire¹ fait partie des évaporites.

- Dans des psammites du Condroz on trouve des précipitations d'évaporites de nature dolomitique. (Michot, 1980)
- De la dolomie-ankérite (ankérite = dolomite ferrifère) d'évaporite a été observée dans le Famennien supérieur (Ek, 1963)

1- Les évaporites se forment par évaporation, généralement dans des lagunes ou dans des lacs salés.

Dans l'ordre des précipitations des principaux minéraux, se déposent d'abord : la dolomie primaire, le gypse, l'halite puis la carnallite, la sylvine, etc. Ultérieurement, sous de fortes pressions, le gypse se transforme en anhydrite, vers les 450 m de profondeur.

2- Gypse ou sulfate de calcium hydraté, il se cristallise souvent en « fer de lance » et dans les déserts, en « rose des sables ». Par déshydratation après cuisson, le gypse donne le plâtre.

3- Gypse ou sulfate de calcium déshydraté.

4- La dolomie est une roche sédimentaire contenant 50% ou plus de carbonate, dont la moitié au moins sous forme de dolomite. Elle est caractérisée par la présence de nombreux petits cristaux de dolomite noyés dans une pâte amorphe. La dolomie primaire est due à la précipitation directe de la dolomite. La dolomie secondaire la plus abondante, notamment en Belgique, est due au remplacement total ou partiel de la calcite par de la dolomite (phénomène de la dolomitisation).

Spéléothèmes du sel

Les stalactites et leurs orientations par rapport à la verticalité

Dans la Ghar el Melh, on peut remarquer qu'un certain nombre de stalactites sont verticales ou obliques. On pourrait argumenter que les stalactites obliques seraient dues à l'action d'une circulation d'air, comme pour les concrétions de calcite. Les concrétions de sel sont alimentées par la percolation de la saumure, une circulation d'air favorise la précipitation du sel sur le côté exposé à ce courant d'air. Elles sont appelées anémolites¹. Néanmoins, je propose de compléter cette approche pour tenter d'en expliquer, pour certaines d'entre elles, leur orientation oblique.

On peut distinguer deux groupes de stalactites²:

- 1 - Les stalactites obliques sous un angle quelconque par rapport à la verticale.
 - Les stalactites, arquées, courbées.
C'est le cas des anémolites, leur surface extérieure est recouverte de sel amorphe. (photo n° 4 - ci-contre)
- 2 - Les stalactites rectilignes de forme conique étirée. Elles présentent sur leur face des cubes en général incomplets, qui sont visibles sur la totalité de ces concrétions ou parfois en partie, certaines étant partiellement ou en totalité recouvertes d'une couche de sel amorphe.
Dans ce groupe, on distingue :
 - a - Les stalactites rectilignes et verticales, de forme conique étirée³.
 - b - Les stalactites rectilignes de forme conique étirée et obliques à 45° par rapport à la verticale. (photo n° 1 - ci-contre)
 - c - Les stalactites rectilignes de forme conique allongée et obliques à 45° par rapport à la verticale prolongées par un coude à 45°.
 - d - Les stalactites rectilignes de forme conique étirée et obliques à 45° sur lesquelles ont pris naissance une autre stalactite formant entre les deux branches un angle de 45°.

Sous cette dernière rubrique, je nommerai « bifides », (pour faire bref) un ensemble de concrétions, à défaut d'un terme plus approprié. (photo n°2 - ci-contre)

Remarques

Il n'est pas exclu qu'une stalactite anémolite recouverte de sel amorphe poursuive sa croissance, en évoluant vers une concrétion rectiligne et se couvre de cristaux ou vice-versa.

Conclusion

Vu la constance des caractéristiques observées sur les stalactites décrites dans le deuxième groupe et sur leur nombre proportionnellement élevé par rapport aux stalactites (anémolites) rencontrées, on pourrait envisager que leur construction soit dictée par la cristallographie cubique propre au sel⁵, comme l'exemple de la stalactite à empilement monocristallin décrite ci-dessous. Mais sans négliger pour autant une éventuelle influence des circulations d'air qui pourrait décider du choix des directions des axes à 45°.

Description d'une stalactite verticale à empilement monocristallin. (photo n°3 - ci-contre)

Une stalactite⁴ observée dans cette grotte est longue d'une vingtaine de centimètres et entièrement constituée par un empilement de cubes de sel⁵. Ils sont positionnés avec une pointe orientée vers le haut et une autre vers le bas, cet axe étant la direction de croissance la plus rapide⁶ du cristal de sel. Cette stalactite n'est pas en réalité construite d'un seul empilement, mais d'au moins trois, accolés ensemble parallèlement. Des interstices subsistent entre ces alignements verticaux, entre lesquels l'eau de percolation peut circuler et pourraient en partie ou totalement remplacer le tube capillaire.

Cet empilement à 90° oriente des faces de cube vers le haut et d'autres vers le bas, toutes ces faces sont orientées selon un angle de 45° par rapport à la verticale. Sur une face d'un cristal orienté vers le bas, est accolé un nouvel empilement de cubes donnant une branche s'écartant de la stalactite avec une pente de 45° vers le bas. Puis, sur cette branche, un nouvel empilement à 45° vers le bas, la réoriente à 90°, soit la verticale (voir figure n°1 page 21).

1. Anémolite, terme utilisé pour la première fois en 1900 par Barnes et Horoyd (Orghidan et al., 1984).

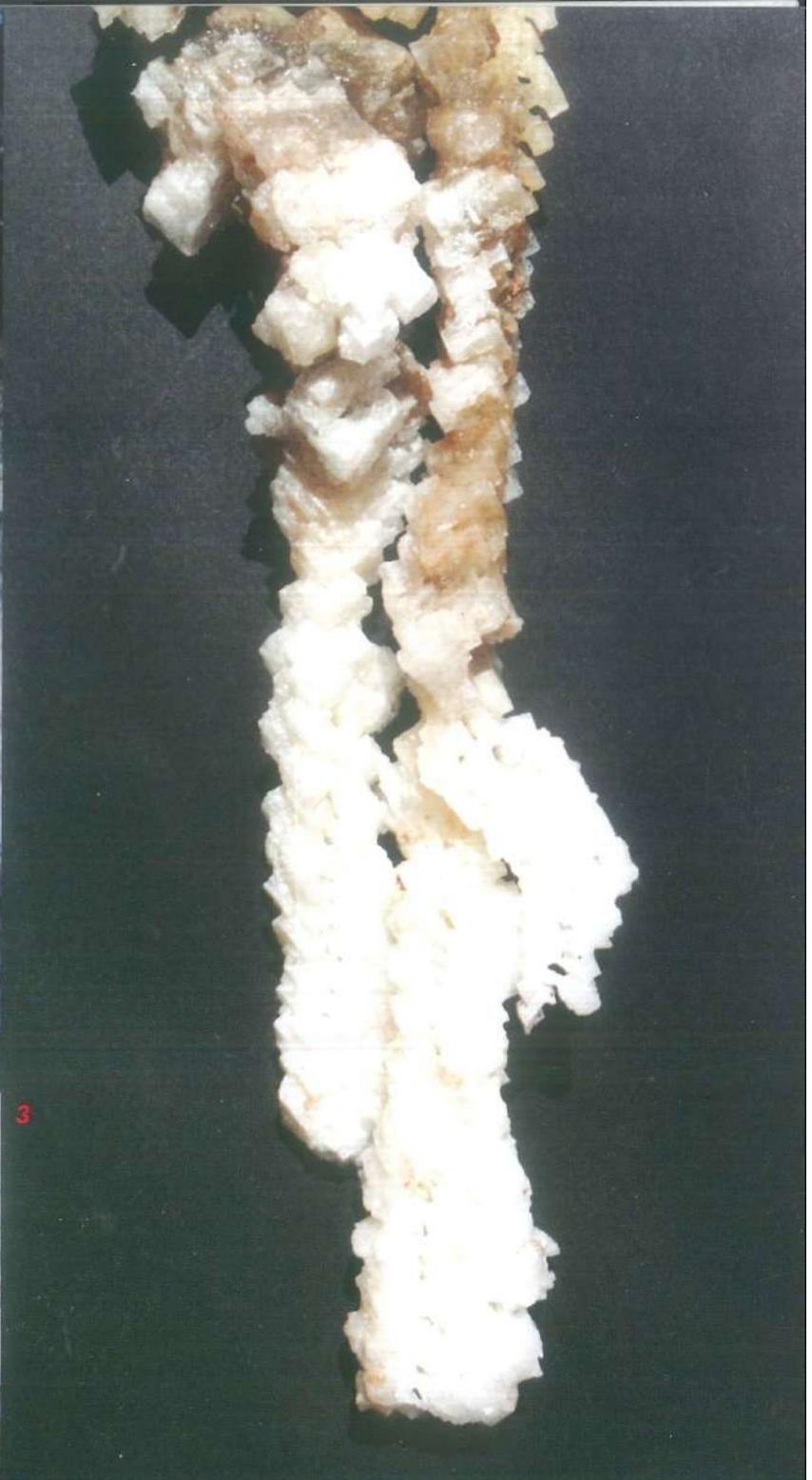
2. Ces concrétions sont assez courantes dans les quelques cavités de sel que j'ai eu l'occasion de visiter, comme celles de Ghar el Melh, de la Montagne de sel et de la saline à Tissa, ainsi qu'en Roumanie, dans les Carpates méridionales dans la région de la Meledic. Des stalactites similaires existeraient dans des grottes des Monts Zagros en Iran. Elles semblent absentes dans les grottes du Mont Sedom.

3. Le mode de formation conique étirée très régulière de ces stalactites attend encore une explication; pourquoi la taille des cubes diminue-t-elle vers le bas ?

4. Située à proximité de la Cascade, dans l'Affluent de la Cascade, elle n'a pas la forme conique étirée, son mode d'alimentation et son environnement n'étant pas comparable au 2^{ème} groupe des stalactites.

5. Le sel gemme ou halite appartient au système cubique. Néanmoins, il peut cristalliser sous des formes moins courantes, notamment en octaèdre, il peut également se macler.

6. De même pour la calcite dans Prinz 1908, Cabrol & Mangin, 2000.



Initiation à la Spéléologie

Stage de Pâques

10 au 14 avril à Floreffe

Stage d'été

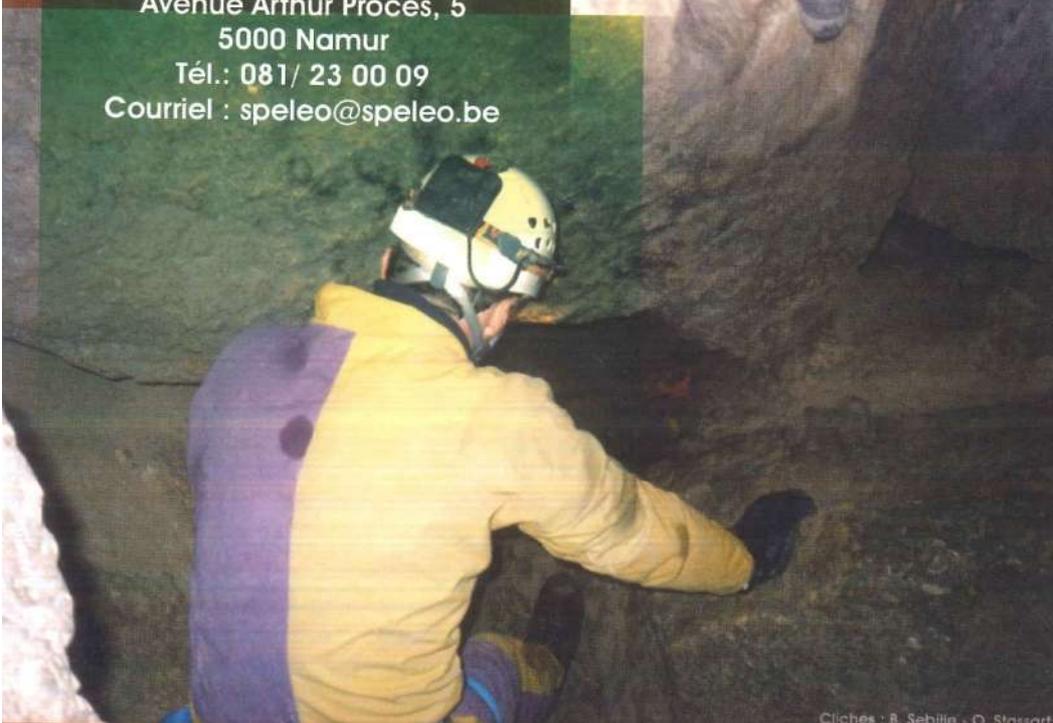
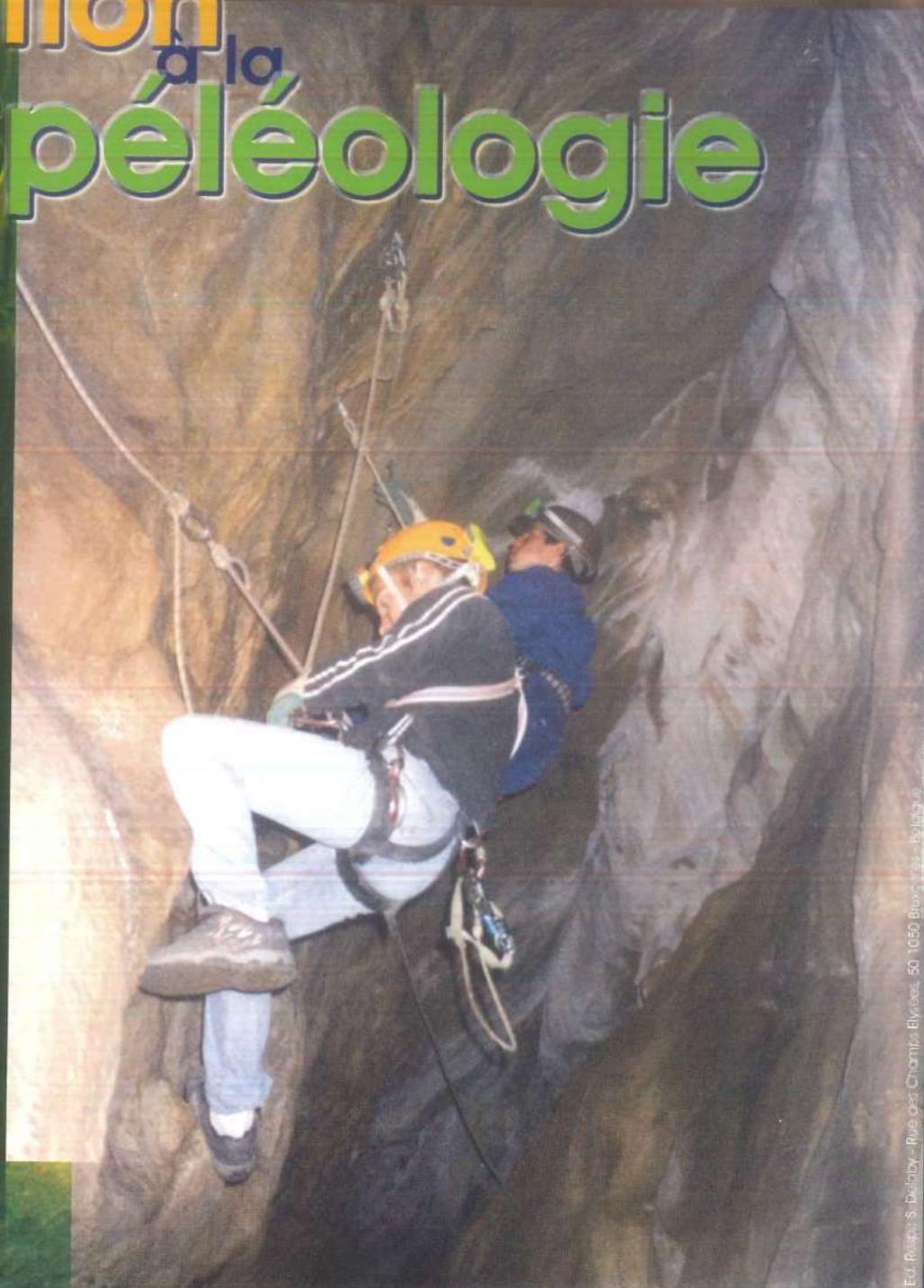
10 au 14 juillet à Han s/Lesse

- Encadrement par des moniteurs brevetés ADEPS
- Coût : 120€/personne*
- Groupes en fonction de l'âge (entre 12 et 26 ans)

* Comprend : l'assurance, le matériel, l'encadrement et le transport pendant le stage mais PAS le logement ni la nourriture (90€ de supplément).

Renseignements et inscriptions

Maison de la Spéléologie
Avenue Arthur Procès, 5
5000 Namur
Tél.: 081/ 23 00 09
Courriel : speleo@speleo.be



Clichés : B. Sebillie - O. Stassart



Ces stages sont organisés par l'Union Belge de Spéléologie avec le soutien de l'ADEPS