

Travaux d'Initiative Personnelle Encadrée

Du nécessaire apport de matière organique dans le milieu souterrain en l'absence d'énergie lumineuse.

Introduction

Depuis l'aube de l'humanité, les hommes connaissent les sombres salles minérales du monde souterrain, dont la majesté ascétique entretient chez eux une fascination certaine. Elles ont été les hôtes de leurs premières croyances et de leurs premiers rites, initiatiques ou funéraires. L'apparente nudité de leurs parois, et leurs reliefs sculptés par l'érosion furent les supports de l'apparition de l'art dès l'Aurignacien à Chauvet, avant qu'il ne fleurisse dans les grottes de la vallée de la Vézère au Magdalénien. Leur fréquentation se perpétue pendant l'antiquité, où des monuments sacrés y sont érigés, ou excavés, comme le Temple d'Or de Dambulla, au Sri Lanka ou des temples honorant des divinités comme Pan et Bacchus dans des grottes du sud de l'Europe. Mais les grottes et les gouffres, de par leur obscurité, et leurs basses températures, antithèses de la vie devinrent aussi dans l'imaginaire humain les portes du royaume des morts, comme chez les Égyptiens ou les Grecs où elles mènent au fleuve souterrain des enfers. L'inaccessibilité de la connaissance des êtres qui les peuplent en feront au moyen âge l'ancre de monstres, comme le Dragon Fafnir de la Légende de Siegfried.

Si aujourd'hui, les grottes ont perdu une part de leur mysticisme (mis à part quelques sanctuaires comme celui de Lourdes) elles n'en conservent pas moins un voile de mystère. Aussi, perpétuant leur fréquentation plurimillénaire, le touriste en quête d'aventure parmi ces dédales de stalactites et stalagmites, ou désireux d'admirer les splendides bestiaires représentés sur les parois des grottes ornées ne se doute généralement pas que d'autres animaux – bien vivants, et non peints ou gravés – l'accompagnent dans sa visite, d'autant plus qu'il éprouve un fort contraste entre la roche inerte et les odeurs de la verte campagne où il ressort.

L'existence de tels êtres vivants serait alors doublement paradoxale : « vivre, c'est d'abord croître et se multiplier ; c'est se nourrir et se reproduire... comment ces deux phénomènes essentiels peuvent-ils s'accomplir sous ces voûtes perpétuellement obscures, dans ce monde minéral et froid ? »¹

En effet, les animaux des cavernes, bien que capables de supporter de nombreux mois de jeûne, doivent s'alimenter.

Quelle est – alors – la provenance des ressources en énergie et en matière permettant l'existence d'un écosystème souterrain dans le milieu karstique en l'absence d'énergie lumineuse ?

On se limitera à l'étude de la faune des grottes naturelles de type karstique de zones tempérées.

Exposition de nos démarches	2
Mise en évidence de l'existence de la faune cavernicole	2
Rappels sur le milieu étudié	3
Recherche de variations de concentration de matière organique dans l'eau du système	4
Observation de la biocénose cavernicole	4
Résultats Obtenus	5
Une diminution de la quantité de matière organique dissoute de l'amont vers l'aval du système	5
Différentes espèces aux aires de répartition délimitées dans l'espace	6
Les différentes voies de l'acheminement de la matière organique	7
Hypothèse du transport passif de matière organique par l'eau circulante	7
Transport de matière de l'extérieur vers l'intérieur d'une grotte par voie émergée	7
Synthèse et approfondissement du modèle	8
Conclusion	10
Bibliographie & Webgraphie	10
Remerciements	10

Exposition de nos démarches

Mise en évidence de l'existence de la faune cavernicole

Au sein du réseau karstique de La-Pierre-Saint-Martin, la Salle de la Verna est une des cavités karstiques les plus volumineuses d'Europe. L'Entomologiste Michel Cabidoche y a recensé, à partir de 1962, vingt-et-une espèces animales, les plus emblématiques étant des espèces d'Aphaenops (coléoptères de la famille de Carabidae). C'est donc dans cette grotte, réputée abriter une faune cavernicole relativement importante, et qui présente l'avantage d'une relative accessibilité, que commencent nos travaux.

Nos observations sur place permettent de mettre en évidence la présence de Collemboles, de Carabidés (Aphaenops), d'araignides, d'un diploure (Plusiocampa), d'un trichoptère (Stenophylax), et d'un mycète non identifié. Ces différentes espèces sont exposées ci-dessous :



Aphaenops loubensi



Plusiocampa (Diplura)



Pseudosinella subvirei (Collembola)



Stenophylax (Trichoptera)



Aphaenops ochsi ssp. cabidochei



Aphaenops ochsi ssp. cabidochei

▲ Photographies prises lors de notre expédition à La Verna.

Dans les travaux relatifs à la faune cavernicole, les espèces – aériennes ou aquatiques - sont usuellement réparties en trois catégories :

- les *trogloxènes*, qui sont les espèces (aériennes) dont les caractéristiques biologiques ne permettent pas l'occupation permanente du milieu souterrain. Ils doivent donc quitter périodiquement cet environnement.
- les *troglophiles*, qui peuvent effectuer leur cycle complet dans l'environnement souterrain ou bien en dehors.
- les *troglobies*, qui ne se rencontrent que dans le milieu souterrain et ont perdu la faculté de survivre dans le milieu épigé (la surface)². Les troglobies ont évolué en réponse aux caractéristiques physico-chimiques de leur milieu. Celles-ci sont l'obscurité, l'absence de photopériode, les faibles variations de températures, et l'humidité relative de l'air proche de la saturation.³

Stygoxènes, stygophiles, et stygobies sont les pendants aquatiques des précédents.

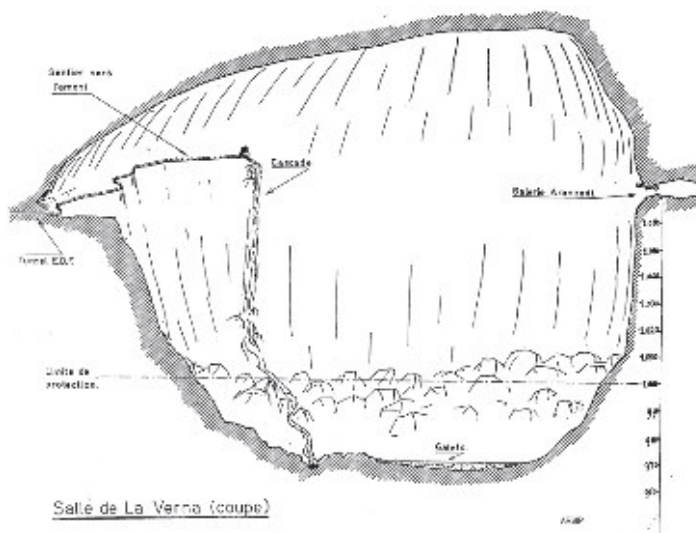
Les individus observés sont donc des invertébrés de taille modeste, souvent aveugles, dépigmentés et présentant un allongement des appendices, caractères propres aux animaux cavernicoles². Parmi certaines de ces espèces, certaines sont endémiques de la salle de La Verna ou du réseau de la Pierre-st-Martin, en particulier les deux espèces d'Aphaenops exposées⁴.

Nous n'avons toutefois pas conservé la grotte de La Verna comme système d'étude. En effet, certains inconvénients sont inhérents à son originalité même :

La taille de cette cavité, bien supérieure à la moyenne – puisqu'on estime son volume comme le quintuple de celui de la cathédrale Notre Dame de Paris – interdit toute généralisation. En outre, la grotte est ouverte au public depuis 2007, la présence sporadique de l'homme peut donc interférer sur l'écosystème, d'autant plus que collemboles et aphaenops sont attirés par du bois mort, apporté dans l'optique de rendre les cavernicoles observables par le public. Le suivi des populations réalisé sur trois ans n'a toutefois pas détecté d'impact négatif des aménagements sur ces espèces, réputées fragiles.

Enfin, seule une partie restreinte de la salle de La Verna nous fut accessible, pour des raisons pratiques (verticalité des parois et présence d'éboulis instables).

Suivant les conseils du spéléologue Pierre-Michel Abadie, nous poursuivons donc nos travaux dans deux autres systèmes karstiques : Ceux de La Bédouinette, à Lestelle-Bétharram, et celui du Montagnon de la Pale, dans la Réserve Naturelle Régionale du Massif du Pibeste-Aoulhet à St-Pé de Bigorre, tous deux situés dans les Hautes Pyrénées.

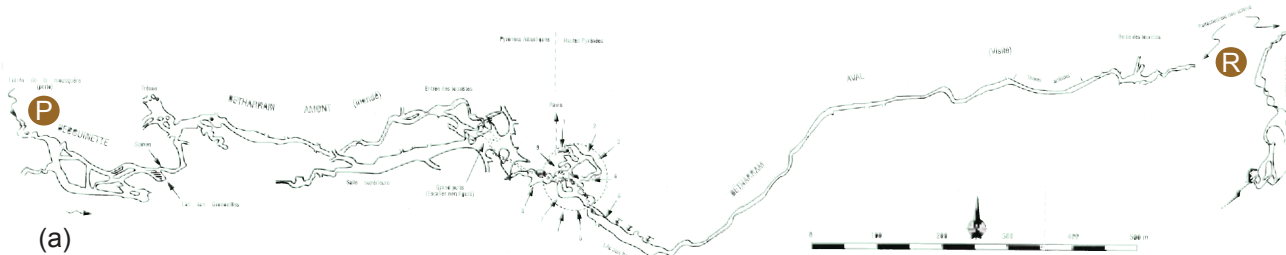


Rappels sur le milieu étudié

Le karst (ou cause) est un type de relief façonné par l'érosion, hydraulique (érosion mécanique due à l'eau) et hydrochimique (due à des propriétés chimiques de l'eau) dans les roches carbonatées, en particulier les roches calcaires, où l'eau s'écoule de manière souterraine. C'est donc un "modelé superficiel et souterrain issu de la dissolution par l'eau des roches carbonatées" ⁵.

D'un point de vue hydrogéologique, on peut le définir comme "un terrain calcaire où le réseau hydrographique de surface s'enfonce partiellement ou totalement et circule au sein de la masse rocheuse pour atteindre des aquifères alimentant des sources. L'ensemble zone d'infiltration - aquifère - émergence constitue le système karstique" ⁵.

Une grotte karstique est donc assimilable à un système thermodynamique ouvert, à l'intérieur duquel circulent des fluides.



(a)



(b)

(a) Plan du système karstique de La Bédouinette et Bétharram, et du réseau de Mélats (indépendant et non étudié, à l'est).⁶

(b) Carte topographique de la zone géographique correspondante (Carte (IGN) initialement au format 1/25000, redimensionnée à l'échelle donnée en noir et blanc).⁷

Ⓟ : Localisation de la perte Ⓡ : Localisation de la résurgence

À travers l'exemple du système karstique de La Bédouinette - Bétharram, sur le territoire communal de Lestelle-Bétharram, nous essayons de déterminer si une partie de la matière organique contenue dans l'eau sous forme dissoute (acides fulviques,...) peut être utilisée par des cavernicoles vivant dans les réseaux actifs. L'exploration spéléologique de ce système n'ayant mis en évidence à ce jour qu'une seule perte (en amont, on considère qu'elle constitue l'essentiel de la zone d'infiltration) et une seule résurgence (en aval, on considère qu'elle constitue l'essentiel de l'émergence). On les suppose donc uniques dans le cadre de notre travail. On néglige l'apport de matière organique dissoute dans le système par l'eau d'infiltration percolant dans la grotte depuis la surface à travers l'épikarst.

Plusieurs prélèvements d'eau sont donc réalisés au niveau de la perte et de la résurgence, toutes deux accessibles par voie pédestre depuis le Chemin de Cot de Belloc (commune d'Asson) la route départementale 152 (commune de St-Pé-de-Bigorre).(b)

Recherche de variations de concentration de matière organique dans l'eau du système

Pour accomplir le dessein évoqué ci-avant, nous réalisons une série de mesures de l'absorbance, par spectrophotométrie UV, de la matière organique dissoute dans l'eau des prélèvements. En effet, certaines molécules organiques absorbent dans le domaine des ultraviolets (UV) on peut donc réaliser un dosage de la matière organique en solution par mesure de l'absorbance des rayons (UV) par l'échantillon prélevé. Une des longueurs d'onde communément utilisée pour cette mesure d'absorption est 254 nanomètres.⁸

En outre, l'absorbance UV d'un échantillon est proportionnelle au nombre de molécules contenant des doubles liaisons conjuguées dans cet échantillon, lui même proportionnel à la concentration en matières organiques de ce même échantillon. La connaissance de cette absorbance permet alors d'estimer la teneur en matières organiques du prélèvement dans le cas où le rapport de proportionnalité existant entre ces deux grandeurs peut être déterminé préalablement.

Pour ce faire, trois autres indicateurs sont usuellement utilisés : l'oxydabilité au KMnO_4 , le carbone organique total (COT), le carbone organique dissous (COD). Chacun d'eux est corrélé linéairement avec l'absorbance. On peut donc réaliser des droites d'étalonnage qui permettent ensuite, pour une absorbance mesurée, d'accéder à l'oxydabilité au KMnO_4 , au COT ou au COD et ainsi déterminer la quantité de matière organique dissoute en fonction de l'absorbance.⁸


Il nous est toutefois impossible de réaliser un tel étalonnage, étant donné le fait que nous ne disposons pas des moyens nécessaires pour mesurer ces grandeurs. Faire appel à un laboratoire extérieur était, de plus, inenvisageable du fait que chaque « masse d'eau » prélevée doit être calibrée indépendamment, ce qui aurait impliqué un intervalle de temps important entre le prélèvement et la mesure d'absorbance, et donc une source d'erreur (pour ces eaux ne présentant pas une forte charge en particules, cet intervalle de temps doit être le plus court possible).⁸

Nous mesurons tout de même l'absorbance de chacun des échantillons pour la longueur d'onde $\lambda=254$ nm, le lendemain du prélèvement. Si cela ne permet pas d'accéder à la quantité de matière organique dissoute, on peut en revanche mettre en évidence des variations de cette quantité entre la perte et la résurgence. Les prélèvements ayant été réalisés après une période de météo homogène (temps pluvieux pendant une semaine), on suppose que le facteur temps (durée) n'intervient pas.

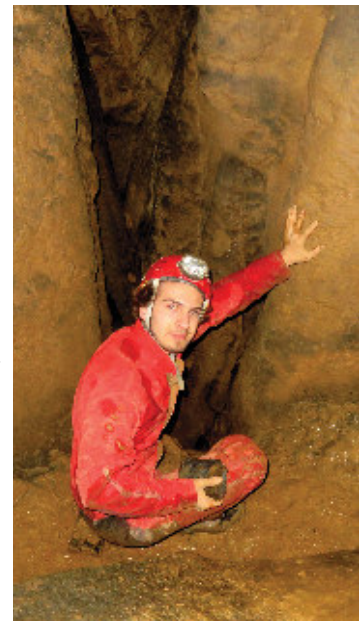
Observation de la biocénose cavernicole



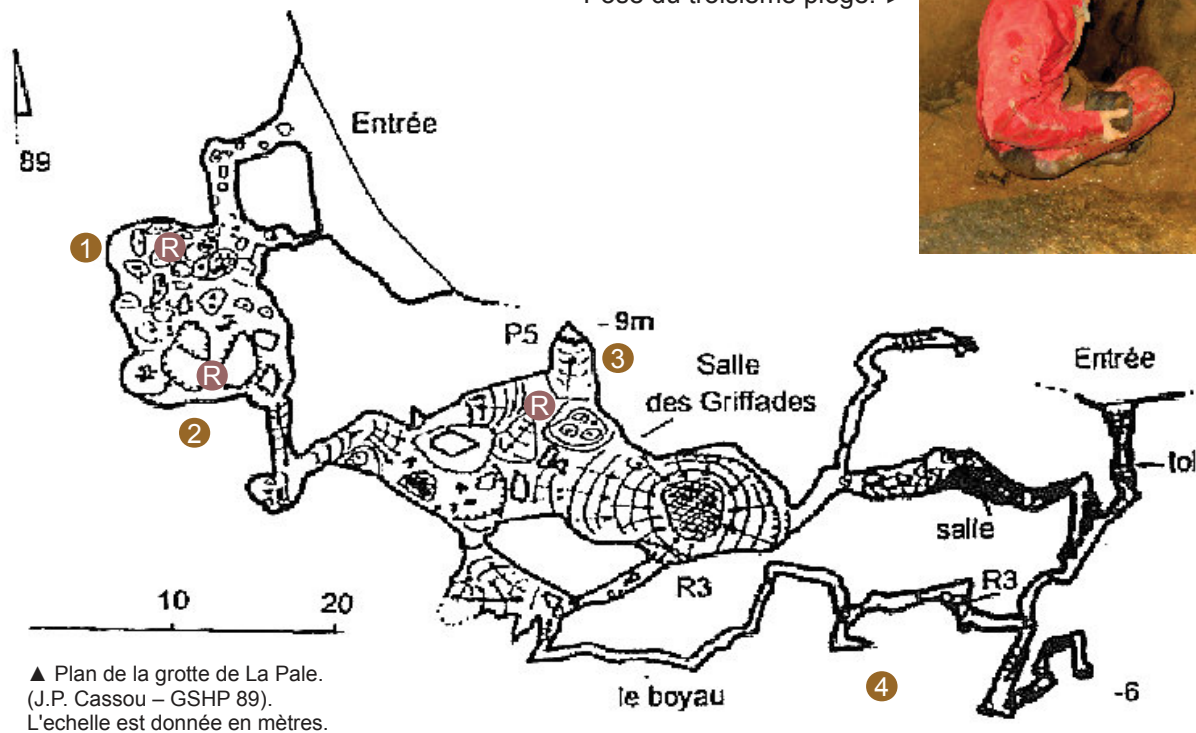
Parallèlement à ces mesures, nous étudions la faune de la grotte de La Pale, située dans le montagnon et le système karstique éponymes, à quatre kilomètres au Sud-Est du système karstique de la Bédouinette et indépendant de celui-ci.

Nous voilà donc, après nous être glissés à travers un étroit orifice, et accompagnés du fidèle Pierre-Michel Abadie, à la découverte des obscurs boyaux de La Pale. Eclairés par nos seules lampes frontales, nous réalisons une première expédition de reconnaissance, destinée à repérer les anfractuosités dans lesquelles poser des pièges. Nous somme frappés, dès les premiers mètres de notre progression par l'omniprésence d'araignées de taille importante. Après quelques mètres au travers d'élégantes concrétions semblant soutenir le plafond de calcaire gris, nous sommes surpris par la rencontre d'un petit rhinolophe, (*Rhinolophus Hipposideros*, mammifère de l'ordre des Chiroptères et de la famille des Rhinolophidés, représenté par le premier ).

C'est alors sur une paroi inclinée opposée que nous observons un premier diplopode, puis deux autres. Nous choisissons cet endroit pour poser un premier piège. De même, au fur et à mesure de notre progression et de manière à couvrir significativement toute la longueur et la profondeur de la grotte, nous installons trois autres pièges. Leurs emplacements sont représentés sur la topographie de la grotte ci-dessous, numérotés dans l'ordre où nous les avons posés. Nous prenons également garde aux autres spéléologues de passage en ces lieux – qui pourraient perturber les résultats – en ne disposant les pièges qu'en des zones à l'écart des voies de passages les plus commodes.



Pose du troisième piège. ►



▲ Plan de la grotte de La Pale.
(J.P. Cassou – GSHP 89).
L'échelle est donnée en mètres.



Les pièges utilisés sont de deux types :

Le premier type de piège est constitué d'un morceau de roche aplatie (calcaire schistosé), posé sur trois plus petits morceaux constituant un trépied, en dessous duquel on dispose des croûtes de fromage (mimolette vieille), denrée particulièrement appréciée par les cavernicoles. Il a été mis en évidence de manière empirique que

le fait de couvrir les appâts améliore l'efficacité du piège.¹

Le second, consiste à disposer de la bière dans une petite coupelle autour de laquelle on dispose du limon de la grotte de manière à ce qu'elle soit en continuité avec le sol.



Résultats Obtenus

Une diminution de la quantité de matière organique dissoute de l'amont vers l'aval du système karstique

Après avoir réalisé une dizaine de mesures d'absorbance pour chacun des échantillons, les moyennes obtenues pour la perte et la résurgence sont respectivement de $(3,6 \pm 0,16) \times 10^{-2}$ et de $(2,7 \pm 0,15) \times 10^{-2}$ (Incertitude statistique). On observe donc une diminution de l'absorbance – et donc de la quantité de matière organique, proportionnelle – de 25% entre l'entrée et la sortie du système.

On peut à priori supposer que cette matière organique a été consommée dans le système. Elle constitue donc une source potentielle d'énergie et de matière pour la faune cavernicole.

