

Parmi les derniers milieux que l'humain n'a pas encore explorés, cartographiés et investis, le monde souterrain est le terrain de jeu – et de recherches – des spéléologues, une petite communauté de passionnés avides de sciences et d'aventure. Parmi eux, Luc-Henri Fage, explorateur, archéologue amateur et réalisateur de films documentaires, et Stéphane Jaillet, ingénieur de recherche au CNRS, géomorphologue et spécialiste du karst et des grottes. Rencontre avec ces explorateurs des temps modernes.

propos recueillis par Kassiopée Toscas  
illustration Marie Mohanna

#### Pourquoi l'espèce humaine est-elle attirée par les profondeurs de la Terre ?

**Stéphane Jaillet** Elle y trouve un intérêt pratique, des ressources à exploiter. Les humains devaient déjà s'y engouffrer aux temps préhistoriques pour s'y réfugier ou y chercher de l'eau, de l'argile... Ces pratiques sont bien documentées pour les périodes néolithique et antique. Paradoxalement, quand on remonte le temps, au paléolithique supérieur, il semble plutôt s'agir de pratiques d'ornementation, d'ordre symbolique, si ce n'est cultuel ou mythologique (*voir encadré p. 94*).

**Luc-Henri Fage** L'humain est aussi un être fondamentalement curieux, qui a l'exploration dans les gènes : il a aujourd'hui envahi chaque coin de la planète... ou presque ! Si au XIX<sup>e</sup> siècle on pensait que l'humain avait peur de l'obscurité des mondes souterrains, on réalise aujourd'hui qu'il y pénètre chaque fois qu'il en avait l'utilité. Mais ces milieux suscitent tout de même de la crainte : mon guide à Bornéo me disait par exemple qu'il évitait de bivouaquer dans les grottes ornées de mains, considérées comme habitées par des esprits. Encore aujourd'hui, il y a une attirance-répulsion pour le milieu souterrain.

#### Quand est née la spéléologie ?

**S. J.** On peut parler de spéléologie à partir du moment où l'exploration du monde souterrain a une visée scientifique, pour étudier sa géologie ou sa topographie. Elle apparaît dès les XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles de façon très fugace, puis Édouard-Alfred Martel formalise cette pratique à la toute fin du XIX<sup>e</sup> siècle et fonde la Société de spéléologie.

**L. H. F.** Il faut garder en tête que les techniques et le matériel n'étaient pas les mêmes qu'aujourd'hui ! Dans ses récits, Martel raconte qu'il descendait un puits de 168 mètres dans les monts du Vaucluse, assis à califourchon sur une barre de bois attachée au bout d'une corde, une bougie fichée dans son chapeau. Il fallait avoir le cœur bien accroché, le désir d'explorer, et peut-être aussi le désir du record – car c'était déjà la course au gouffre le plus profond. Ces records faisaient office de publicité et aidaient les spéléologues à obtenir des financements pour leurs recherches.

**S. J.** En spéléologie, on topographie la profondeur et le développement, c'est-à-dire la longueur des réseaux de grottes. Aujourd'hui, le plus grand réseau du monde est la Mammoth Cave aux États-Unis, avec plus de 680

km de galeries, et le gouffre le plus profond est en Abkhazie orientale, en Géorgie, avec 2 223 mètres de profondeur. Si l'on compte actuellement plus de 100 gouffres de -1 000 (de plus de 1 000 mètres de profondeur, ndlr), le premier (le gouffre Berger, à côté de Grenoble) n'a été découvert qu'en 1956, à la faveur d'un fort regain des activités exploratoires, des entrailles de la terre comme de ses sommets – c'est aussi à cette époque que le « premier 8 000 », l'Annapurna, a été gravi. Mais contrairement à l'exploration en haute montagne, celle du monde souterrain n'apporte pas de grande renommée. C'est une expédition de l'ombre, et plus elle est difficile, engagée et profonde, plus elle est collective et plus les explorateurs sont discrets.

#### A-t-on une idée de ce qu'il reste à découvrir ?

**S. J.** C'est très compliqué à estimer. À l'échelle de la France, on estime que plus de 100 km de nouvelles galeries sont découverts chaque année. Ces découvertes sont rythmées par des plateaux et des périodes très fructueuses dues à de nouvelles techniques.

**L. H. F.** Aujourd'hui, la plongée souterraine permet de repousser les limites de l'exploration, de franchir

# LE MONDE SOUTERRAIN, VÉRITABLE FENÊTRE SUR LE PASSÉ

## L'ORIGINE SOUTERRAINE DE L'HUMANITÉ

Les premiers Sapiens s'enfonçaient dans des grottes obscures pour y laisser des traces de mains, y peindre des motifs non figuratifs mais aussi des humains, certains animaux, des êtres chimériques... Pour certains préhistoriens, cet art dit pariétal (relatif aux parois d'une cavité), très codifié, pourrait être associé à des paroles et à des récits, et plus précisément à des mythes. Dans son récent ouvrage *La Caverne originelle* (La Découverte, 2022), l'anthropologue Jean-Loïc Le Quellec a tenté de reconstituer le mythe qui aurait poussé nos ancêtres à peindre dans les profondeurs de la Terre en faisant appel à la mythologie comparée et à la généalogie des mythes. Selon lui, il s'agirait du mythe de « l'émergence primordiale », d'après lequel humains et animaux vivaient à l'origine sous terre, puis en sont un jour sortis par un trou ou une grotte, devenant ainsi mortels. Le monde souterrain serait le monde originel, celui où sont restés les êtres éternels n'ayant pas pu sortir, et celui où retournent les défunts. D'après la théorie de Jean-Loïc Le Quellec, ce mythe anthropogonique (qui raconte l'origine de l'humanité), aujourd'hui le plus répandu sur Terre, serait né il y a au moins 100 000 ans. Et aurait structuré l'ontologie des peuples humains pendant des millénaires.

des conduits noyés (des siphons) et de découvrir des cavités autrement inaccessibles. La spéléologie se réinvente en permanence, et tous les jours de nouveaux gouffres, rivières ou lacs souterrains sont découverts.

**S. J.** Faire de nouvelles découvertes est de plus en plus difficile, mais ça ne signifie pas qu'il n'y a plus rien à découvrir! Partout où il y a des montagnes et du calcaire – où la mer a recouvert les terres par le passé –, il y a des grottes. Certaines zones ont été très peu explorées, en Asie ou en Amérique du Sud notamment, car la spéléologie reste à l'origine un sport d'occidental. Mais cela change, heureusement.

**Le monde souterrain est en quelque sorte une des dernières terras incognitas...**

**L. H. F.** Avec les fonds marins et l'espace, c'est en effet le milieu où il y a encore de la véritable exploration à faire, la possibilité de mettre le pied là où aucun être humain ne l'a jamais mis avant! On appelle cela « faire de la première ».

**S. J.** Oui, les cavités souterraines sont le seul milieu qu'on ne peut pas explorer sans y aller physiquement, alors que l'on peut envoyer des robots sous-marins dans les fosses profondes ou des rovers sur Mars. Il y a là quelque chose de fascinant, car on ne sait jamais ce qui nous attend au tournant, si on est au terme du développement ou au début d'un grand volume souterrain. Ça nourrit beaucoup l'imaginaire, ça crée du fantasme, du rêve et énormément de discussions au sein des groupes de spéléologie.

**L. H. F.** C'est ça, la spéléologie : l'attrait de l'inconnu. Je me souviens de chaque mètre que j'ai parcouru « en première » car ce sont des moments très forts, visuellement et sensuellement. C'est réellement un monde à part et un système géologique fascinant.

**Quels processus géologiques forment ces réseaux souterrains ?**

**S. J.** Il s'agit de calcaire creusé par des écoulements d'eau, ce que l'on

appelle le karst. Le calcaire est une roche très soluble, formée par l'accumulation de débris organiques dans les fonds marins. Les plus vieux calcaires ont plusieurs centaines de millions d'années! Poussées par la surrection des chaînes de montagne, ces masses de calcaire solidifiées sortent ensuite de la mer, et sont éventuellement plissées et fracturées. De l'eau, rendue acide par le gaz carbonique de l'atmosphère ou des sols traversés en surface, ruisselle et dissout les massifs calcaires, qui se creusent de l'intérieur. Ils s'étagent au fil du temps : l'eau emprunte les anciennes galeries et en crée de nouvelles de plus en plus profondément dans le massif montagneux. En milieu tropical, ça peut aller très vite (quelques dizaines de milliers d'années) car il y a beaucoup de végétation et de précipitations, quand cela peut prendre quelques centaines de milliers d'années en Europe, par exemple.

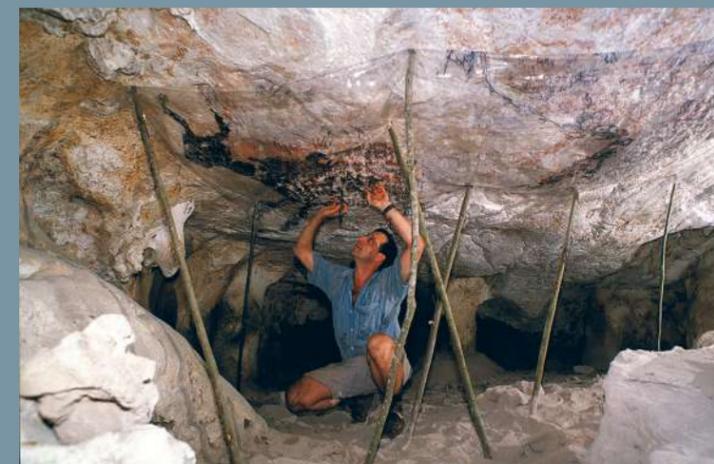
**Et comment se forment les concrétions ?**

**S. J.** Par le processus chimique de précipitation, l'inverse de la dissolution. Quand ils atteignent une cavité, les écoulements d'eau se retrouvent au contact d'une atmosphère moins concentrée en CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> « repart » donc des gouttes d'eau, et le calcaire qui était jusque-là transporté se dépose sous forme de cristal, donnant ce que l'on appelle la calcite. Cela peut former des stalactites (quand les gouttes restent suspendues au plafond) et des stalagmites (quand elles atteignent le sol). Dans certaines conditions aérologiques, la précipitation peut former des concrétions dites excentriques, souvent très fragiles. La présence de certains minéraux dans les sols traversés par l'eau peuvent aussi colorer les concrétions. Tout cela donne des buissons variés de cristaux colorés. Mais il ne faut pas résumer la richesse du monde souterrain à cet aspect esthétique. C'est comme si l'on résumait une ancienne église gothique à ses vitraux

→ En 2001, Luc-Henri Fage relève sur transparent le bovidé de Lobang Geriji Saleh, une cavité située dans les monts Marang à Bornéo (Indonésie). La fresque, qui contient d'autres mammifères, des symboles et des mains négatives, a été datée à au moins 40 000 ans (soit 4 000 ans de plus que la grotte Chauvet).



↑ Relevé 3D par lasergrammétrie dans une grotte des Gorges de l'Ardèche (France). L'appareil, placé en plusieurs positions, relève un nuage de points à très haute densité et sans contact avec la paroi. Les sphères blanches servent à l'assemblage des différents relevés.



©Luc-henrifage/fage.fr. Photo tirée du livre Bornéo, la Mémoire des Grottes, L.-H. Fage et al., 176 pages, Fage éditions, 2009.

« La spéléologie est une activité très variée, à la fois sportive et technique, à la croisée de nombreuses disciplines scientifiques : la géologie, l'hydrologie, l'archéologie, la paléontologie, la biologie, etc. »

Franck Bréhier, spéléologue, plongeur et spécialiste de biologie souterraine

sans s'intéresser à son architecture, à ses fondations. Il y a une esthétique générale du monde souterrain, une géométrie des galeries à laquelle les spéléologues sont très sensibles.

**L. H. F.** En effet, dès qu'une grotte est active, qu'elle est parcourue par des rivières souterraines, des lacs ou des cascades, c'est un autre monde qui s'offre à nos yeux. Mais j'aime beaucoup les concrétions excentriques, ce qui est difficile pour le spéléologue que je suis car la poursuite d'une galerie se fait parfois derrière un rideau de concrétions qu'il faut casser pour s'ouvrir un passage. C'est le seul cas où l'on est autorisé à détruire ces monuments souterrains.

**S. J.** Heureusement, le discours a évolué, car jusque dans les années 2000 il y avait un tel engouement pour les calcites et les concrétions qui brillent que les stratégies de déplacement dans la grotte en étaient impactées. On se dirigeait vers les zones jugées moins nobles, comme celles recouvertes d'argile. Seulement, on s'est vite rendu compte que l'argile était aussi le support d'empreintes de pas humains qui peuvent avoir 30 ou 40 000 ans, alors que la calcite est parfois là depuis moins longtemps et ne fait que les recouvrir. En effet, les grottes sont des milieux très conservatoires, notamment grâce à l'absence de lumière, mais aussi à la stabilité de la température et du taux d'humidité. D'autant plus quand les cavités sont naturellement fermées par des éboulis, comme à Chauvet par exemple. Il y a d'ailleurs dans cette grotte un panneau qui m'a bouleversé, sur lequel les hommes préhistoriques ont tracé un cheval avec les doigts sur l'argile un peu humide de la paroi, et 35 000 ans après, il reste encore des petites boulettes d'argile, suspendues à la paroi, laissées par le tracé digital ! C'est assez magique.

**L. H. F.** La rencontre avec l'homme préhistorique dans les grottes est toujours un moment exceptionnel pour un spéléologue. Je me souviens précisément du jour où, à Bornéo, j'ai découvert les toutes premières peintures préhistoriques de l'île. Un art rupestre unique au monde, qui fait la part belle aux mains négatives, mais aussi aux représentations de zoomorphes, à l'instar de bovidés datés à plus de 40 000 ans. Pour la première fois, les peintures figuratives les plus anciennes au monde n'étaient plus en Europe ! Les datations à Bornéo ont d'ailleurs été faites grâce aux couches de calcite qui recouvraient l'ocre des peintures.

**S. J.** Les concrétions sont en effet de très bons enregistreurs des périodes interglaciaires : pour que de la calcite pousse, il faut qu'il y ait des écoulements d'eau. Ces enregistrements remontent souvent à plusieurs centaines de milliers d'années, mais il y a des concrétions en Chine et en Italie qui ont enregistré l'équivalent d'un ou deux millions d'années ! Les concrétions constituent aujourd'hui une excellente « mémoire naturelle » permettant de reconstituer les variations du climat passé.

**La cartographie des milieux souterrains s'avère aussi essentielle pour un enjeu d'actualité : la recherche d'eau potable...**

« La plongée souterraine est bien plus technique que la plongée classique : la visibilité est souvent très mauvaise – donc on tire un fil d'Ariane pour retrouver la sortie – et on est sous plafond, sans possibilité de remonter à la surface. Ces défis ont d'ailleurs été le moteur d'innovations dans les techniques de plongée sous-marine, à l'instar des recycleurs d'air. »

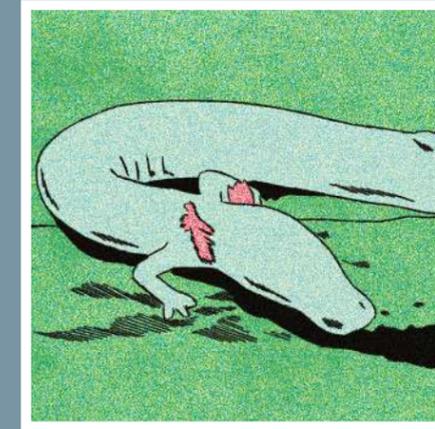
Franck Bréhier

**L. H. F.** En effet, les karsts abritent de gigantesques réserves d'eau douce, notamment en zone profonde. Dans le Vaucluse, nous n'avons pas eu de coupure d'eau cet été malgré la sécheresse, notamment grâce à la réserve karstique des monts du Vaucluse. Il est crucial de protéger cette eau souterraine de la pollution de surface car, le système karstique ne filtrant pas l'eau, elle y est très vulnérable.

**S. J.** Si ces ressources ont été un peu délaissées au cours du XX<sup>e</sup> siècle, on y revient de plus en plus : de grands chantiers sont aujourd'hui menés pour prospecter l'eau des karsts profonds. Il est certain que cette recherche va s'intensifier, et la communauté spéléologique pourra apporter des connaissances sur les développements karstiques et l'accès aux réserves d'eau. Pour nous, il est important de sensibiliser le public à ces enjeux d'avenir, mais aussi de partager notre passion pour l'exploration souterraine. À une époque où l'on vit de plus en plus par procuration, par le biais d'écrans, cette confrontation directe à la réalité brute de notre monde me semble essentielle. ●

De nombreuses initiations à la spéléologie sont proposées par différents clubs aux quatre coins de la France.

# LA VIE INTRATERRESTRE



**Antre d'une faune prisonnière de ses adaptations ou refuge pour espèces reliques, les mondes d'en bas hébergent des survivants.**

Si au Moyen Âge on pensait le monde souterrain peuplé d'êtres fantastiques et maléfiques, on connaît aujourd'hui un peu mieux la faune qui s'y développe. Rien de maléfique, mais un bestiaire étonnant d'espèces qui se sont adaptées aux conditions extrêmes de ces milieux. La principale est évidemment l'obscurité. « Les animaux peuvent facilement s'adapter à la privation de la vue en développant leurs autres sens, notamment l'odorat et le toucher », décrit Franck Bréhier, spéléologue, plongeur et spécialiste de biologie souterraine. Leur corps, leurs pattes, leurs antennes s'allongent pour avoir plus de surface de contact. Les insectes perdent aussi leurs ailes, pour ne pas se priver du toucher. Mais l'obscurité rend surtout impossible la production de matière organique – et donc de nourriture – par les plantes via la photosynthèse. » Heureusement, les grottes ne sont pas coupées de l'extérieur : des feuilles mortes et des troncs tombent dans les gouffres, les animaux de passage (comme les chauves-souris et les rongeurs) laissent derrière eux leurs excréments, et de l'eau circule dans les grottes, charriant de la matière organique dissoute.

« Avec si peu de ressources alimentaires, les animaux qui se sont adaptés sont forcément très petits », explique Franck Bréhier. On ne verra jamais de vache cavernicole ! Ainsi, en zone tempérée, la faune des profondeurs est presque exclusivement constituée d'invertébrés, principalement des mollusques et des arthropodes (crustacés, arachnides, insectes, myriapodes – ou milles-pattes, ndr). » À l'exception d'un verté-

bré, l'illustre protégée, une salamandre cavernicole européenne, endémique des grottes de Slovénie, mais vivant aussi dans quelques grottes françaises, croates ou encore italiennes (voir ci-contre). « En zone intertropicale, où les cavités sont plus riches en matière organique (simplement car il y en a plus à l'extérieur), on trouve aussi des amphibiens et des poissons cavernicoles », précise le spéléologue.

Un si faible apport en matière organique « oblige les animaux à faire des économies d'énergie », explique Josiane Lips, biospéléologue et responsable du Groupe d'étude de biospéléologie. Ils perdent donc la vue, voire leurs yeux, devenus inutiles, et leur protection contre le soleil (la mélanine), ce qui entraîne une dépigmentation de leur peau. » Ils ont aussi un régime alimentaire opportuniste – c'est-à-dire qu'ils mangent tout ce qu'ils trouvent – et des cycles biologiques beaucoup plus lents, leur permettant de s'économiser et de passer de très longues périodes sans manger. « On parle de métabolisme vieillard », ajoute Franck Bréhier. Cela leur confère d'ailleurs une grande longévité : les protégés peuvent vivre jusqu'à au moins 80 ans, quand leur cousins terrestres, les salamandres tachetées, à la robe jaune et noir, vivent une vingtaine d'années. « Mais cette longévité est aussi due au fait qu'il y a très peu de compétition et de prédation dans ces milieux », précise le chercheur. Vivre sous terre a tout de même quelques avantages ! Comme le taux d'humidité proche de la saturation, qui permet à ces animaux de ne pas manquer d'eau. »

## DES MONDES PERDUS

Comportement, physiologie, morphologie... Les adaptations de ces populations, isolées sous terre depuis parfois des centaines de milliers d'années, sont si fortes que ces espèces « deviennent prisonnières du monde souterrain, souligne Franck Bréhier. Elles ne survivraient jamais à la lumière du jour, mais existent pour la plupart uniquement grâce à la lumière du soleil. » Cette faune, dite troglobie (totalement inféodée au milieu souterrain), ne pourrait même pas passer d'une grotte à une autre. C'est pourquoi l'habitat souterrain est extrêmement morcelé. « Il n'y a aucune continuité d'un massif calcaire à l'autre, ce qui explique le très fort endémisme de la faune cavernicole: de nombreuses espèces ne sont connues que d'un massif », signale Franck Bréhier. « Les troglobies du massif du Vercors ne sont pas du tout les mêmes que ceux du massif de la Chartreuse, bien qu'ils soient très proches géographiquement », illustre Josiane Lips. Chaque grotte est un monde à part, avec une biodiversité qui lui est propre.

Outre leur aspect fragmenté, les habitats souterrains sont d'une grande stabilité: ils évoluent très peu sur des centaines de milliers d'années, et sont préservés des rayonnements ultraviolets émanant du soleil, responsable de mutations génétiques. Les milieux souterrains sont ainsi de véritables laboratoires pour étudier les rouages complexes de l'évolution des espèces. « Les individus sont soumis à beaucoup moins de contraintes qu'à la surface de la Terre, et leurs adaptations sont ainsi très marquées, très évidentes », indique Franck Bréhier. La grande stabilité de ces milieux permet aussi d'y trouver des groupes très anciens. « Il y a quelques années, j'ai décrit une nouvelle espèce de crevette connue uniquement dans deux grottes en France, et une ou deux en Espagne, raconte Franck Bréhier. Ses plus proches cousines sont seulement présentes au Yucatán, aux Bahamas et en Australie, des lieux très éloignés les uns des autres, qui s'avèrent être les anciennes limites du paléo-océan Téthys! » Tels des mondes perdus, les milieux souterrains peuvent aussi abriter une faune supposée disparue. « En Europe, il y a eu des phénomènes de glaciation, commence Bernard Lips, lui aussi biospéléologue. Un certain nombre d'espèces – comme des coléoptères – issues de groupes ayant ainsi disparu de la surface de la Terre ont pu se réfugier sous terre. C'est ce que l'on appelle des espèces relictuelles. »

Il y a aussi les méga-dolines nommées tiānkēng en chinois, ou « fosses célestes », ces trous géants de plusieurs centaines de mètres de diamètre et de profondeur, découverts en Amérique du Sud et plus récemment en Asie. « On peut y trouver des lambeaux de forêt primaire car

ces gouffres sont assez larges pour recevoir la lumière du soleil, mais si difficiles d'accès qu'ils ont été épargnés par l'activité humaine, explique le biospéléologue. Toute la biodiversité qui existait à la surface des centaines voire des milliers d'années auparavant, avant que la forêt ne soit détruite, y vit encore. » L'année dernière une forêt primaire a par exemple été découverte dans un gouffre de presque 200 mètres de profondeur dans le sud de la Chine, avec des arbres – probablement en quête de lumière – atteignant 40 mètres de haut! Ces gouffres géants sont ainsi de véritables réserves naturelles de faune et de flore.

## UNE VIE AUTONOME

S'il y a très peu de matière organique sous terre à cause de l'absence de lumière, certaines bactéries peuvent tout de même en produire, via la chimiosynthèse: elles décomposent de la matière minérale en matière organique (voir p. 76) et fournissent ainsi de la nourriture aux animaux troglobies! C'est d'ailleurs le cas de la grotte de Movile, située en Roumanie, abritant une faune unique au monde, endémique à 75% et isolée « certainement depuis des milliers d'années, estime Bernard Lips. C'est un site extrêmement intéressant car toute une communauté animale y vit sans énergie solaire. À l'époque où la grotte avait été découverte, c'était assez révolutionnaire. Mais depuis, on a trouvé ce fonctionnement chimiosynthétique dans d'autres milieux, notamment des sources hydrothermales. On a également trouvé de telles communautés bactériennes dans des couches géologiques très profondes, une forme de vie purement chimique! Il semblerait d'ailleurs que cette biomasse soit absolument considérable. »

« De la vie sous terre peut donc exister indépendamment de l'extérieur, avec une chaîne alimentaire autonome, signale Josiane Lips. Il n'y a donc aucune raison qu'il n'y ait pas de vie très profondément sous terre. » Notons aussi que la biodiversité des grottes n'est que la partie émergée de l'iceberg: « Sous les sols, il y a des rochers d'éboulis pleins de fissures qui abritent une biodiversité tout à fait méconnue, précise la biospéléologue. C'est ce que l'on appelle le milieu interstitiel, ou le milieu souterrain superficiel. Ces fissures débouchant sur les cavités souterraines, la faune qu'on y trouve n'est finalement qu'un aperçu de la faune souterraine. » Sans oublier qu'énormément de grottes n'ont jamais été échantillonnées de manière sérieuse, car « il est rare que les biologistes capables de décrire de nouvelles espèces fassent de la spéléologie », pointe Franck Bréhier. Et de s'enthousiasmer: « Nous n'avons aucune idée du pourcentage d'espèces souterraines qu'il reste à découvrir! » ●

« Le monde souterrain est une véritable fenêtre sur le passé. Entre les vestiges archéologiques, les roches formées sur des dizaines, voire des centaines de milliers d'années, et la faune relictuelle, il nous emmène hors du temps, face à des témoins directs du passé, très anciens et parfaitement conservés. »

Franck Bréhier

