

Articles publiés et documents présentés au congrès international 2025 au Brésil

Version 2 – 02/02/2026 – Jean-Philippe Grandcolas

Active tectonics and karstology / Tectonique active et karstologie (<i>Philippe Vernant</i>)	Page 2
Discovery of an underground lake / Découverte d'un lac souterrain (<i>Philippe Audra</i>)	Page 4
Kugitangtau 2024 research project (Turkmenistan) - The Kugitangtau karst and the genesis of the exceptional Cupp-Coutunn caves / Projet de recherche Kugitangtau 2024 (Turkménistan) - Le karst de Kugitangtau et la genèse des cavités exceptionnelles de Cupp-Coutunn (<i>Philippe Audra – Jo De Waele</i>)	Page 5
Expédition Köýtendag 2024 Turkménistan (<i>Extrait Spélunca 175 – 2024, Collectif</i>)	Page 11
Speleogenesis of Gap-Gotan - (Cupp-Coutunn) cave system, Köýtendag massif, Turkmenistan (<i>Extrait actes congrès UIS 2025, Collectif</i>)	Page 32
Documenting caves in Turkmenistan (<i>Présentation UIS 2025, Annie Guiraud & Philippe Crochet</i>)	Page 39
Documenting caves of Köýtendag (Turkmenistan), (<i>Extrait actes UIS 2025, Annie Guiraud & Philippe Crochet</i>)	Page 93
Two new cavernicolous species of Entomobryidae (Collembola) from Turkmenistan, Central Asia (<i>Mahmood Mehrafrooz Mayvan, Josiane Lips, L'Ubomir Kovac</i>)	Page 99



Active tectonics and karstology/ Tectonique active et karstologie

Philippe Vernant

Laboratoire Géosciences Montpellier
Université de Montpellier France

English :

In the western part of the country, the Ashgabat fault is responsible of the 1948 destructive earthquake. A collaboration with Turkmen geophysicists and geologists would allow to establish a GPS network in order to better constrain the kinematic of the South Caspian Basin and the Ashgabat fault to improve the seismic hazard assessment of the region.

In the eastern part of the country, the low land of the Eurasian platform evolves into the Pamir Mountain range foothills. Studying the sediment deposits in the caves would allow, if some quartz is found, to quantify the canyons incision rates in relation with the Amu Darya valley.

These incision rates will allow to better understand the geodynamics of the area, its relationship with the karstogenesis of the known cave networks and the local seismic hazard. Like for the western part of the country, a collaboration with Turkmen geophysicists and geologists would allow to establish a GPS network in order to better constrain the kinematic of the area.

Français :

A l'Ouest du Pays la faille d'Ashgabat est responsable du séisme destructeur de 1948. Une prise de contact avec les géophysiciens turkmènes permettrait d'envisager une collaboration pour établir un réseau GPS afin de mieux contraindre la cinématique du block Sud Caspien et de la faille d'Ashgabat pour en préciser l'aléa sismique.

A l'Est du Pays, la plateforme stable eurasiatique cède la place aux prémices de la chaîne de montagnes du Pamir. L'étude des remplissages sédimentaires dans les cavités permettra s'il y a la présence de quartz de quantifier la vitesse d'incision des canyons en relation avec la vallée de l'Amu Darya.

Ces vitesses d'incision permettront de mieux comprendre la géodynamique de la région, sa relation avec la karstogenèse des réseaux de cavités et l'aléa sismique local. Ici aussi une collaboration pour établir des mesures GPS pourrait être envisagée avec les géophysiciens/géologues turkmènes.

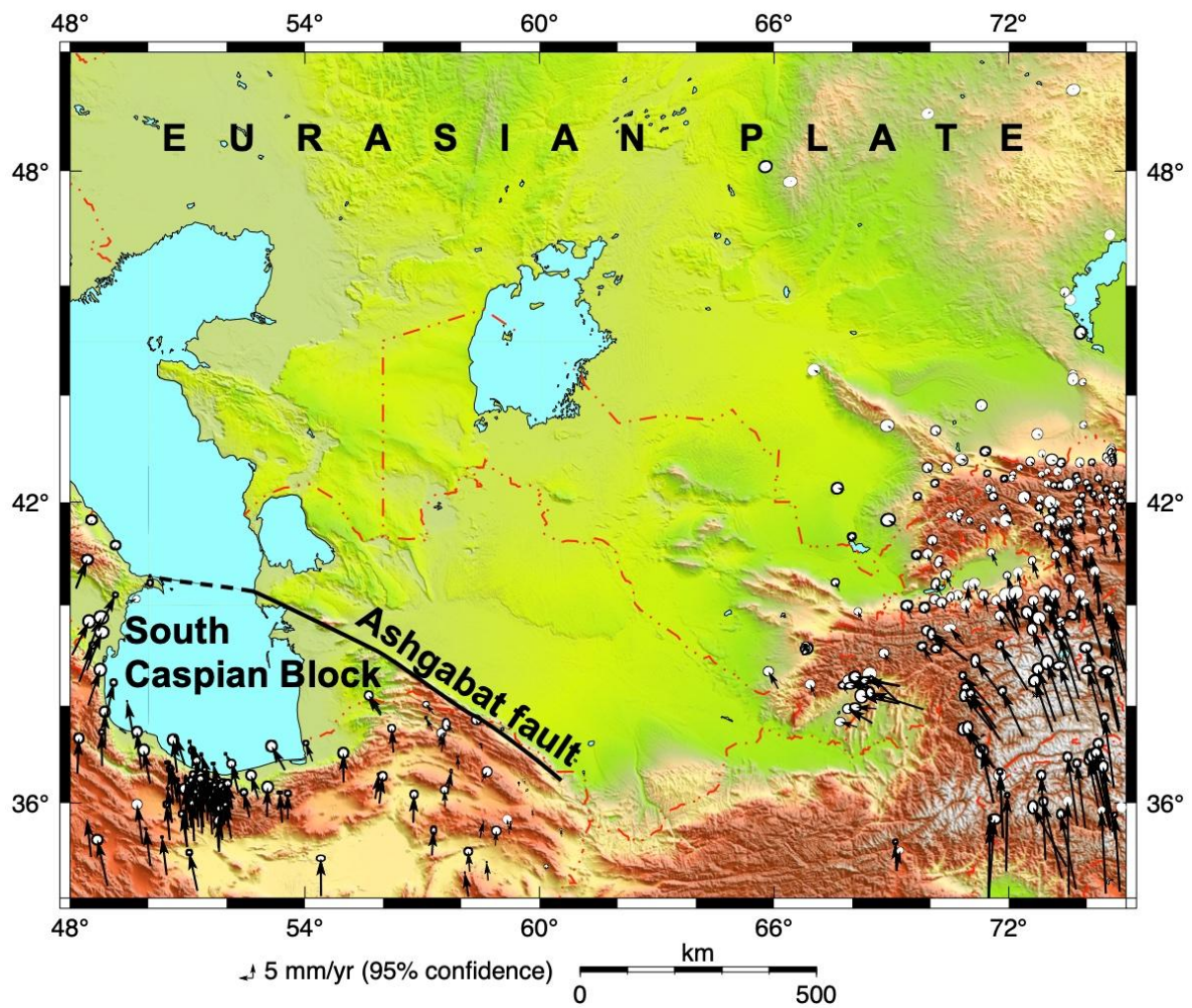
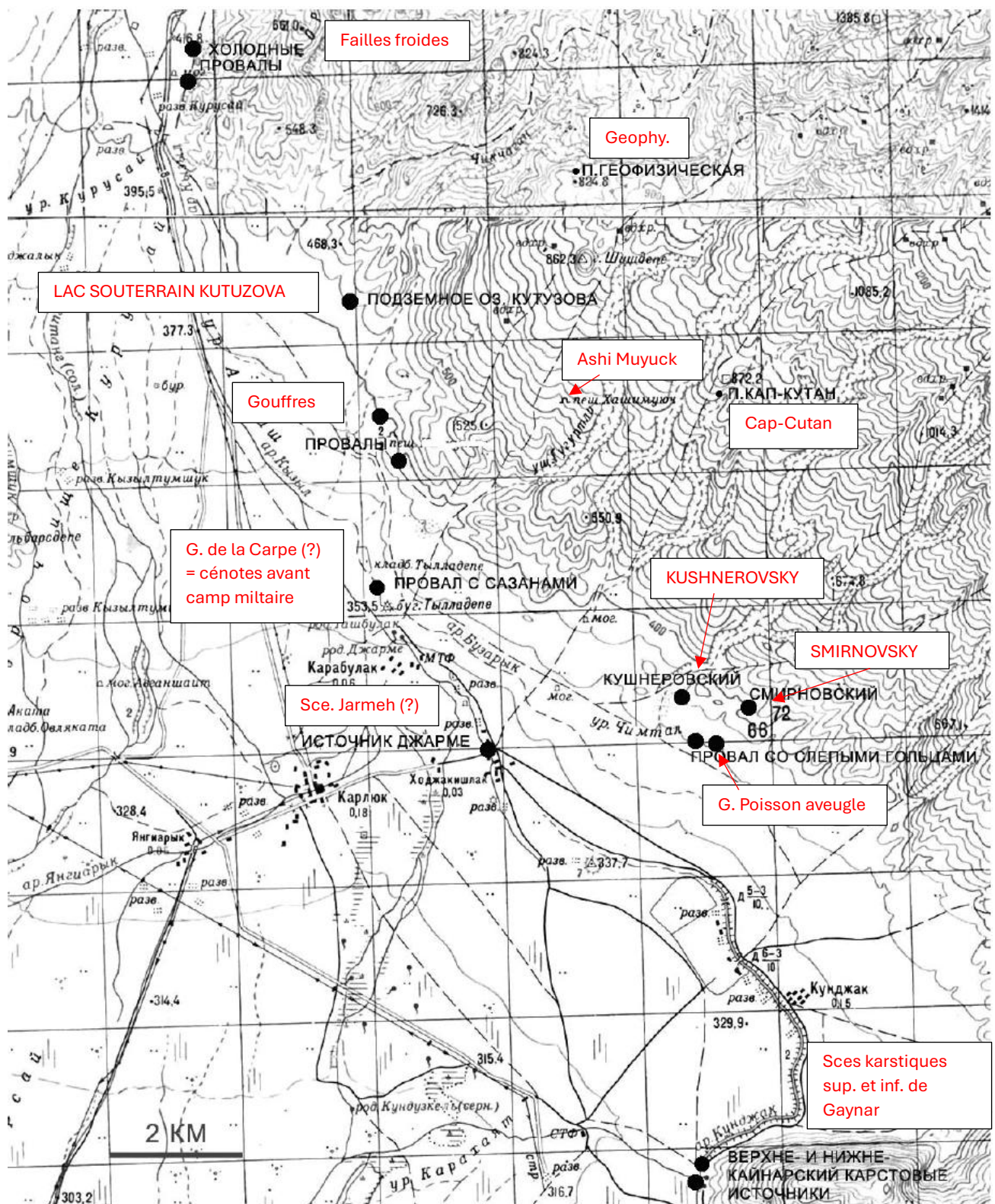


Figure : Map of the GPS velocities in a Eurasia fixed reference frame. Turkmenistan is a major area to understand the transition between plate boundary tectonics and intraplate tectonics.

Figure : Carte des vitesses GPS actuelles de la région dans le référentiel Eurasie fixe. Le Turkménistan est une région critique pour comprendre la transition entre tectonique de limite de plaque et tectonique intraplaque.



Discovery of an underground lake (carte traduite Philippe Audra).

Kugitangtau 2024 research project (Turkmenistan)
The Kugitangtau karst and the genesis of the exceptional Cupp-Coutunn caves

Philippe Audra, karst scientist, Univ. Côte d'Azur, France, Philippe.AUDRA@univ-cotedazur.fr
Jo De Waele, karst scientist, University of Bologna, Italy, jo.dewaele@unibo.it

The Kugitangtau massif lies at the SE tip of Turkmenistan, its crest forming the border with Uzbekistan. It is edged to the S by the Amu Darya plain, which forms the border with northern Afghanistan. The massif is oriented N-S (50 x 20km) and takes the form of an asymmetrical ridge, sloping westwards on the Turkmen side and bounded by a steep wall almost 1,000 m high on the Uzbek side. Altitudes range from 260m at the edge of the Amu Darya, 350m at the contact between the foothills and the first slopes, to 3138m at the Airibaba summit. The western slopes are cut with a multitude of dry canyons, several hundred metres deep. The climate is arid, with temperatures at Köýtendag city (on the banks of the Amu Darya) ranging from 5 to 30°C (extremes 49 and -20°C), and rainfall limited to 122 mm, mainly in winter, forming at altitude a blanket of snow for several months. The massif is underlain by 500m-thick Middle Jurassic limestone, resting on impermeable flysch and covered by Upper Jurassic evaporites (gypsum, anhydrite), which have only been preserved from erosion at the foot of the massif.

Superficial karstic morphologies are poorly developed on the limestone massif, due to the arid conditions and winter frosts. The landscape is dominated by a dense network of deep canyons inherited from earlier, wetter periods. In the foothills and on the plains, the dissolution of the evaporites at depth is attested by numerous collapse dolines, sometimes reaching the water table, particularly around Karlyuk. Some give access to short caves.

However, the attraction of this region lies in its caves, principally Cupp-Coutunn and those around it, which can be ranked among the most exceptional in the world. This network develops 54 km. It was studied mainly by V. Maltsev from 1980 to 2000. Cupp-Coutunn is renowned for its mineralization, with more than 30 recognized minerals, some of them very rare, and for its extraordinary gypsum formations (chandeliers, hollow stalagmites, etc.), similar to those in Lechuguilla Cave in the United States, which is described as "the most beautiful cave in the world".

Maltsev identified 3 phases of development. The first deep phreatic phase was responsible for the formation of maze conduits in the Upper Cretaceous, followed by clay plugging. The second phase resulted from the uplift of the massif in the Plio-Quaternary, which was accompanied by an invasion of thermal and sulfuric waters, leading to the first phase of mineralization (fluorite, sulfides, etc.). The third and final phase is currently underway with the continued uplift of the massif, which has dewatered part of the conduits, which are evolving in dry conditions, with the oxidation of sulfides generating sulfuric acid and typical mineralizations. The cave continues to evolve at depth in inaccessible conduits (drowned or plugged), revealed by collapses in the evaporites and sulfur springs in the foothills.

This brief summary of the work of Maltsev and his colleagues hardly reflects the scope, quality and innovation of the work of this pioneer, mainly in the field of mineralogy and, incidentally, speleogenesis. We have no pretension of surpassing this monument to mineralogical and speleological research in just a few weeks in the field. However, the analytical and conceptual progress made since then has enabled us to considerably expand and deepen our previously established knowledge. The two authors of this project are world-renowned specialists in speleogenesis and hypogenic cavities (hydrothermal and sulfuric), with solid skills in mineralogy, geology, geomorphology, hydrogeology, geochronology, etc., backed up by collaborations with geoscience laboratories around the world, enabling them to meet the defined objectives.

1. Geological and geomorphological context

Understanding the formation and development of the caves depends on an overall knowledge of the geological context and underground flow at the scale of the massif. As time does not allow us to carry out detailed surveys of the whole area, we will nevertheless characterize the area from a geological and hydrogeological point of view, in order to have a more precise view than the previous very general data.

2. Geological and geomorphological study at cavity level

In the same way, the characteristics of the geology (faults, structure of the massif, mineralized veins) at the scale of the caves is fundamental. We will carry out a general survey of the conduits we have visited, as well as more detailed surveys of sectors identified as significant. This will be accompanied by a geomorphological survey of the main features and forms of the conduits, to provide a better understanding of underground flow patterns and of the different phases of cave development. This aspect has only been partially covered by previous authors. The aim is to decipher the features associated with the different phases of the caves (initial deep phreatic, hypogenic hydrothermal-sulfuric, and late phase linked to oxidation and condensation-corrosion as well as the leaching of evaporite covers), in order to specify the conditions specific to each phase.

3. Dating evolutionary phases

The generalization of dating methods (U/Th and U/Pb on speleothems, cosmonucleides on siliceous sediments, K/Ar on the by-products of sulfuric speleogenesis, etc.) will make it possible to better constrain the age of the different phases and to link them to tectonic and paleoclimatic events.

4. Detailed characterization of paleoclimatic records in speleothems

The high-resolution study of speleothems, in particular using stable oxygen and carbon isotopes, coupled with dating, will provide precise information on climatic changes (temperature and precipitation), as well as the source of the flows concerned (surface infiltration, deep upflow, condensation).

5. Study of current karstification in the evaporites

The karstification of the evaporites in the piedmont, which is currently active, provides a better understanding of the conditions that prevailed during the development of the limestone caves that were then covered by these evaporites, prior to their erosion. Coupled with the collection of existing data, an assessment of the hydrogeology (flow rate), physical characteristics (temperature, conductivity) and chemical characteristics (dissolved ions and sulfides in particular) will provide a better representation of these phenomena.

6. Cave minerals

Maltsev has extensively detailed this aspect, but we will be able to carry out some mineralogical analyses (XRD, SEM) of mineral associations that may provide new information on their formation in relation to that of the caves and their environment.

7. Assessment of biocorrosion

Some cavities are known for their huge bat colonies, which are the source of abundant guano deposits. The mineralization of these guanos is a field we are very familiar with, and it contributes to the late evolution of the cavities through powerful corrosion, particularly sulfuric corrosion. In addition, microbiological sampling will be carried out to characterize the role of micro-organisms associated with the oxidation-reduction of sulfides and the mineralization of guanos.

These research themes have been defined on the basis of existing knowledge, and may evolve as new knowledge and field sampling are acquired. All the results will be published, firstly in the preliminary report of the speleological expedition, and then in articles published in international scientific journals. These data on speleogenesis could contribute to our knowledge of this exceptional underground environment on a global scale, and could be used in support of existing or pending protection and classification procedures (reserve, UNESCO list, etc.).

Possible collaborations

- Innsbruck Quaternary Research Group, Austria : speleothems isotopes and paleoclimates (Christoph Spötl, Yuri Dublyansky);
- Isotope Climatology and Environmental Research Centre (ICER), Debrecen, Hungary : speleothems isotopes and paleoclimates, U/Th dating (Marjan Temovski);
- Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University: U/Th dating of speleothems (Hai Cheng)
- Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille – CINaM : mineralogy DRX (Vasile Heresanu)
- Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla - IRNAS-CSIC, Spain : microbiology (Ana Zélia Miller)
- Molecular Environmental Microbiology lab – MEMlab, Univ. Bologna, Italy : microbiology (Martina Cappelletti)

Application to the Turkmenistan authorities

The planned research requires geological sampling (rock, cave sediments) in order to carry out the appropriate laboratory analyses on our return. We are seeking formal permission to transport these samples out of the country and back to Europe.

Authors' main references in the field

- GUTIERREZ F. & DE WAELE J. 2022** - Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves. 912 p. 1st ed. Wiley. ISBN 9781119605331. <https://www.perlego.com/book/3544074/karst-hydrogeology-geomorphology-and-caves-pdf>.
- KLIMCHOUK A., PALMER A.N., AUDRA P., DE WAELE J., AULER A. 2017 (Eds.)** - *Hypogene Karst Regions and Caves of the World*. Springer, New York, 996 p. ISBN978-3-319-53347-6. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53348-3>
- DE WAELE J., AUDRA P., MADONIA G., VATTANO M., PLAN L., D'ANGELI I.M., BIGOT J.-Y., NOBÉCOURT J.-CL. & 2016** - Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily. *Geomorphology*, 253, 452-467. [DOI](#)

Projet de recherche Kugitangtau 2024 (Turkménistan)
Le karst de Kugitangtau et la genèse des cavités exceptionnelles de Cupp-Coutunn

Philippe Audra, Karst scientist, Univ. Côte d'Azur, France

Jo De Waele, Karst scientist, Univ. Bologna, Italy

Le massif du Kugitangtau se situe à l'extrémité SE du Turkménistan, sa crête faisant frontière avec l'Ouzbékistan. Il est bordé au S par la plaine de l'Amou Darya, frontière avec le N de l'Afghanistan. Le massif, orienté N-S (50 x 20 km) se présente sous la forme d'un crêt dissymétrique, pentu à l'ouest côté Turkménistan, et délimité par une paroi abrupte de près de 1000 m côté Ouzbékistan. L'altitude varie de 260 m au bord de l'Amu Darya, 350 m au contact entre le piémont et les premières pentes, jusqu'à 3138 m au sommet de l'Airibaba. Le versant ouest est lacéré d'une multitude de canyon secs profonds de plusieurs centaines de mètres. Le climat est aride, avec des températures à Köýtendag (bord de l'Amu Darya) comprises entre 5 et 30 °C (extrêmes à 49 et -20 °C), et des précipitations limitées à 122 mm, principalement hivernales, formant en altitude un couvert neigeux pendant plusieurs mois.

Le massif est armé de calcaires du Jurassiques moyen épais de 500 m, reposant sur des flysch imperméables, et recouverts par des évaporites (gypse, anhydrite) du Jurassique supérieur, préservés de l'érosion uniquement au pied du massif.

Les morphologies karstiques superficielles sont peu développées sur le massif calcaire, du fait des conditions arides et du gel hivernal, le modelé est prédominé par le dense réseau de profonds canyons hérités de périodes anciennes plus humides. Sur le piémont et en plaine, la dissolution en profondeur des évaporites se manifeste par de nombreux cratères d'effondrement, atteignant parfois la nappe, en particulier autour de Karlyuk. Certains donnent accès à de courtes cavités.

Cependant, l'attrait de cette région réside dans ses cavités, principalement celle de Cupp-Coutunn et celles en périphérie, que l'on peut classer parmi les plus exceptionnelles au monde. Ce réseau de 54 km de conduits, étudié principalement par V. Maltsev de 1980 à 2000, est réputé pour ses minéralisations, plus de 30 minéraux reconnus dont certains très rares, et pour ses formations extraordinaires de gypse (chandelières, stalagmites creuses...), analogues à celles de Lechuguilla Cave aux États-Unis, qualifiée de « plus belle grotte du monde ».

Maltsev a identifié 3 phases de développement. Une première noyée en profondeur à l'origine de la formation des conduits labyrinthiques au Crétacé supérieur, suivie d'un colmatage argileux. La seconde phase résulte de la surrection du massif au Plio-quatenaire qui s'est accompagnée d'une invasion d'eaux thermales et sulfuriques, à l'origine de la première phase de minéralisation (fluorite, sulfures...). La troisième et dernière phase se poursuit actuellement avec la continuation du soulèvement du massif qui a dénoyé une partie des conduits, qui évoluent en condition sèche, avec l'oxydation des sulfures générant de l'acide sulfurique et des minéralisation typiques. L'évolution du karst se poursuit en profondeur dans les conduit inaccessibles (noyé et colmatés), révélée par les effondrements dans les évaporites et les sources sulfureuses de piémont.

Ce bref résumé des travaux de Maltsev et de ses collaborateurs ne reflète guère l'ampleur, la qualité, et l'innovation des travaux de ce précurseur, principalement dans le domaine de la minéralogie et incidemment de la spéléogénèse. Nous n'avons pas la prétention de dépasser ce monument de la recherche minéralogique et spéléologique en quelques semaines de terrain. Toutefois, les progrès analytiques et conceptuels effectués depuis permettent de pousser et d'approfondir considérablement les connaissances préalablement établies. Les deux auteurs de ce projet sont des spécialistes mondiaux reconnus dans le domaine de la spéléogénèse et des cavités hypogènes (hydrothermales et sulfuriques), et possèdent de solides compétences en minéralogie, géologie,

géomorphologie, hydrogéologie, géochronologie, etc., appuyés par des collaborations auprès de laboratoires en géosciences du monde entier permettant de répondre aux objectifs définis.

1. Contexte géologique et géomorphologique

La compréhension de la formation et du développement des cavités repose sur une connaissance globale du contexte géologique et des circulations souterraines à l'échelle du massif. Le temps ne permettant pas d'effectuer des relevés détaillés d'ensemble, nous caractériserons cependant le secteur du point de vue géologique et hydrogéologique, afin d'avoir une vision plus précise que les données antérieures très générales.

2. Étude géologique et géomorphologique à l'échelle des cavités

De la même manière, les caractéristiques de la géologie (failles, structuration du massif, veines minéralisées) à l'échelle des cavités est fondamentale. Nous effectuerons un levé général des conduits parcourus, ainsi que des levés plus détaillés de secteurs identifiés comme significatifs. Cela s'accompagnera d'un levé géomorphologique des principales formes et modelés de conduits permettant de mieux comprendre les modalités d'écoulements souterrain et des différentes phases de creusement. Cet aspect n'a été que partiellement couvert par les précédents auteurs. L'objectif étant de différencier les formes associées aux différentes phases d'évolution des cavités (phréatique initiale épigène, hypogène hydrothermale-sulfurique, et tardive liée à l'oxydation et à la condensation-corrosion ainsi qu'au lessivage des couvertures d'évaporites), afin de préciser les conditions propres à chaque phase.

3. Datations des phases d'évolution

La généralisation des méthodes de datation (U/Th et U/Pb sur les spéléothèmes, cosmonucléides sur les sédiments siliceux, K/Ar sur les sous-produits de la spéléogenèse sulfurique, etc.) permettront de mieux contraindre l'âge des différentes phases et de les relier aux événements tectoniques et paléoclimatiques.

4. Caractérisation fine des enregistrements paléoclimatiques dans les spéléothèmes

L'étude à haute résolution des spéléothèmes, notamment par les isotopes stables de l'oxygène et du carbone, couplée aux datations, permet de connaître précisément les évolutions climatiques (température et précipitations), ainsi que la source des écoulements concernés (infiltrations de surface, remontées profondes, condensation).

5. Étude de la karstification actuelle dans les évaporites

La karstification des évaporites du piémont, actuellement active, permet de mieux comprendre les conditions qui ont prévalu lors du développement des cavités du calcaire qui étaient alors couvertes par ces évaporites, avant leur érosion. Couplée à la collecte de données existantes, une évaluation de l'hydrogéologie (débit), des caractéristiques physiques (température, conductivité), et chimiques (ions dissous et notamment sulfures) donnera une meilleure représentation de ces phénomènes.

6. Minéraux des grottes

Cet aspect a été largement détaillé par Maltsev, cependant nous pourrons réaliser quelques analyses minéralogiques (DRX, SEM) des associations minérales pouvant apporter des informations nouvelles sur leur formation en rapport avec celle des cavités et de leur environnement.

7. Évaluation de la biocorrosion

Certaines cavités sont réputées pour leur colonies gigantesques de chauves-souris, à l'origine de dépôts de guano abondant. La minéralisation de ces guanos est un domaine que nous maîtrisons bien, et qui contribue à l'évolution tardive des cavités par une puissante corrosion, notamment sulfurique. En complément, des échantillonnages microbiologiques seront effectués afin de caractériser le rôle des micro-organismes associés à l'oxydo-réduction des sulfures et à la minéralisation des guanos.

Ces thématiques de recherche ont été définies au vu des connaissances préalables, elles pourront évoluer au fur et à mesure de l'acquisition des connaissances et de l'échantillonnages de terrain. L'ensemble des résultats sera publié, d'abord dans le rapport préliminaire de l'expédition spéléologique, ensuite dans des articles parus dans les revues scientifiques internationales. Ces données sur la spéléogénèse pourront contribuer à la connaissance de cet environnement souterrain exceptionnel à l'échelle planétaire, et pourront servir d'appui aux procédures de protection et de classement existantes ou en cours d'élaboration (réserve, liste UNESCO, etc.).

Collaboration envisagées

- Innsbruck Quaternary Research Group, Austria : speleothems isotopes and paleoclimates (Christoph Spötl, Yuri Dublyansky);
- Isotope Climatology and Environmental Research Centre (ICER), Debrecen, Hungary : speleothems isotopes and paleoclimates, U/Th dating (Marjan Temovski);
- Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University: U/Th dating of speleothems (Hai Cheng)
- Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille – CINaM : minéralogie DRX (Vasile Heresanu)
- Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla - IRNAS-CSIC, Spain : microbiology (Ana Zélia Miller)
- Molecular Environmental Microbiology lab – MEMlab, Univ. Bologna, Italy : microbiology (Martina Cappelletti)

Requête auprès des autorités du Turkménistan

Les recherches envisagées nécessitent des échantillonnages géologiques (roche, dépôts souterrains) afin de conduire les analyses appropriées en laboratoire à notre retour. Nous sollicitons une autorisation formelle afin de pouvoir transporter ces échantillons, les sortir du pays, et les ramener en Europe.

Références principales des auteurs dans le domaine

- GUTIERREZ F. & DE WAELE J. 2022** - Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves. 912 p. 1st ed. Wiley. ISBN 9781119605331. <https://www.perlego.com/book/3544074/karst-hydrogeology-geomorphology-and-caves-pdf>.
- KLIMCHOUK A., PALMER A.N., AUDRA P., DE WAELE J., AULER A. 2017 (Eds.)** - *Hypogene Karst Regions and Caves of the World*. Springer, New York, 996 p. ISBN978-3-319-53347-6. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53348-3>
- DE WAELE J., AUDRA P., MADONIA G., VATTANO M., PLAN L., D'ANGELI I.M., BIGOT J.-Y., NOBÉCOURT J.-CL. & 2016** - Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily. *Geomorphology*, 253, 452-467. [DOI](#)

Expédition Köýtendag 2024

Turkménistan

par Philippe Audra¹, Lionel Barriquand², Jean-Marie Briffon³, Gaël Cazes⁴, Philippe Crochet⁵, Claire Falgayrac³, Jean-Philippe Grandcolas⁶, Josef Grego⁷, Jean-Pierre Gruat⁸, Annie Guiraud⁵, Jean-Paul Héreil⁹, Bernard Lips¹⁰, Josiane Lips^{10,11}, Frédo Poggia¹², Alexandre Pont⁶, Xavier Robert^{10,13} et Jo De Waele¹⁴



Grotte de Geophysicheskaya – Grande salle au sol couvert de gypse avec des stalagmites creuses, et au plafond constitué par les calcaires du Jurassique supérieur teintés par les oxydes de fer. Cliché Philippe Crochet

1. Karstologue, Université Côte-d'Azur. CRESPE (Alpes-Maritimes)
2. Laboratoire EDYTEM, Spéléo-club Argilon
3. Gruissan prospection spéléologie (Aude)
4. Doctorant Université de Montpellier, Géosciences Montpellier
5. Individuel FFS
6. Clan des Tritons (Rhône)
7. SubBio Lab. Ljubljana University - Slovak Speleological Society
8. Alpina Millau (Aveyron)
9. Spéléos grenoblois du Club alpin français (Isère)
10. Club spéléo Vulcain (Rhône)
11. Responsable du Groupe d'étude de biospéologie (GEB)
12. Furets jaunes de Seyssins (Isère)
13. ISTerre - Université Grenoble Alpes. Club spéléo Vulcain (Rhône)
14. Université de Bologne. Società Speleologica Italiana (Italie)



Conception
gracieuse de
Thierry Flon
(L'Enseigne
Peinte, Chatou,
Yvelines)



Équipe 2023 :

Philippe Crochet, Annie Guiraud, Claire Falgayrac, Jean-Marie Briffon, Jean-Philippe Grandcolas, Véronique Olivier, Bernard Lips, Josiane Lips, Jean-Pierre Gruat, Philippe Auriol



Équipe 2024 (de gauche à droite, et de haut en bas):

Jean-Paul Héréil, Jo De Waele, Jean-Marie Briffon, Xavier Robert, Alexandre Pont, Jean-Philippe Grandcolas, Gaël Cazes, Frédo Poggia, Philippe Audra, Josef Grego, Bernard Lips, Lionel Barriquand, Annie Guiraud, Claire Falgayrac, Jean-Pierre Gruat, Josiane Lips, Philippe Crochet

Cet article fait suite à l'expédition 2024 au Turkménistan, parrainée par la Commission des relations et des expéditions internationales (CREI) de la FFS (expédition n° 2024-1). Le rapport d'expédition contenant l'intégralité des topographies sera disponible à partir de la banque de données de la CREI, et toutes les données topographiques sont accessibles sous licence CC-BY-NC-SA sur <https://github.com/robertxa/Turkmenistan>. Le compte rendu de l'expédition Köýtendag 2023 – Turkménistan et les annexes documentaires sont en ligne sur le blog du Clan des Tritons <http://clan.des.tritons.free.fr/blog/>

GENÈSE DU PROJET

L'histoire commence en 2019 lors de la préparation d'une expédition de reconnaissance des massifs karstiques du sud de l'Ouzbékistan. Jean-Marie Briffon, Claire Falgayrac, Noël Crosetti et Jean-Pierre Gruat décident d'aller voir de près le bas des grandes parois du massif du Köýtendag (nommé auparavant Kugitang ou Kugitangtau) qu'ils ont repéré sur une carte.

Les parois du Köýtendag vues de Vandob en Ouzbékistan.
Cliché Jean-Marie Briffon

Ils disposent de peu de renseignements sur ce massif qui est le maillon terminal des monts de Gissar. Ceux-ci débutent au Tadjikistan, au nord de Douchanbé et se prolongent par les massifs du Baisun Tau comprenant la chaîne du Chul Bair (où se situent les grottes Boy-Bulok et Vichnechsky) et du Hodja-Gur-Gur-Ata (où se situe la grotte du Dark Star) en Ouzbékistan.





Figure 1:
Localisation
du massif du
Köýtendag
aux confins
orientaux du
Turkménistan.

Dès le début de l'expédition en Ouzbékistan, ils se rendent au village ouzbek situé le plus en altitude (Vandob, 1800 m) et le plus près du pied des immenses parois calcaires du Köýtendag (600 à 1200 m de haut) qui s'étendent sur 60 km de longueur. Ce village n'est pas très éloigné de l'aplomb du point culminant de la chaîne, le mont Ayrybaba (3139 m).

L'objectif de prospecter le bas de la falaise pendant quelques jours et de repérer des porches s'avère impossible car ils n'obtiennent pas l'autorisation des militaires ouzbeks pour aller plus loin que Vandob. Mais ce qui est visible de cette falaise suscite leur enthousiasme : fort dénivelé, calcaire de bonne qualité, nombreux porches... La journée passée à Vandob confirme l'intérêt spéléologique indéniable du Köýtendag.

Après avoir recherché de la documentation sur le massif, à partir de sites russes, car très peu de références existent en français ou en anglais, il s'avère que divers articles émanent d'un géologue russe (Vladimir Maltsev, 1957-2014) et concernent le réseau de grottes de Gap-Gotan (Cupp-Coutun) qu'il a étudié dans les années 1980 et 1990. Le reste est peu exploré depuis l'éclatement de l'URSS car il se situe à la frontière entre l'Ouzbékistan et le Turkménistan et le massif est classé réserve nationale côté Turkménistan (figure 1), mais tout confirme l'intérêt géographique, géologique et karstologique du massif du Köýtendag, délaissé des spéléologues. Il recèle des grottes possédant des concrétionnements exceptionnels et il est évident qu'il est loin d'avoir livré tous ses secrets souterrains.

C'est ainsi que Jean-Pierre envisage dès 2020 une expédition de reconnaissance spéléologique au Köýtendag. Cela ne peut aboutir qu'en 2023 à cause du Covid 19 (fermeture du pays) et des longues démarches administratives nécessaires pour obtenir les autorisations.

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES PRÉALABLES

Pour obtenir un visa pour le Turkménistan, il faut une lettre d'invitation provenant d'une agence touristique accréditée par le gouvernement. Cette invitation est délivrée par le Service d'État des migrations, après sollicitation d'une agence de voyages ou d'une entreprise. Après consultation, nous sélectionnons l'agence Owadan Tourism. De nombreux e-mails sont nécessaires pour expliquer que nous avons des besoins et des objectifs spécifiques, bien différents de ceux des quelques touristes classiques qui souhaitent découvrir ce pays. Rapidement l'agence positionne Madame Dilora Geldiyeva, directrice du développement commercial de l'agence, comme notre interlocutrice car elle parle un très bon français, ce qui simplifie nos échanges pour nos besoins logistiques spécifiques (campement avec électricité, intendance, 4x4, etc.).

Dès 2021, plusieurs courriers sont adressés au ministre de l'Agriculture et de la protection de l'Environnement du Turkménistan pour lui présenter notre projet et solliciter les autorisations nécessaires pour 2022. Nous écrivons aussi à Madame Rustamova Chinar T., secrétaire exécutive de l'équipe nationale du Turkménistan pour l'UNESCO, pour appuyer notre demande. Du fait de sa position frontalière et de son classement comme réserve nationale, l'accès au Köýtendag demande beaucoup de démarches et d'autorisations pour se laisser approcher, prospecter et encore plus pour parcourir ses grottes. Notre salut vient de l'ambassadeur du Turkménistan en France, M. Chariev, qui soutient activement notre projet. Grâce à lui, nous obtenons en 2023 et en 2024, quelques jours avant le départ, la lettre d'invitation du ministère des Affaires étrangères turkmène. De la même manière, dès sa prise de poste en mai 2023, l'ambassadeur de France au Turkménistan, M. Merlin soutient également nos expéditions.

Mais une fois sur place en 2023, nous découvrons que les grottes les plus intéressantes sont situées en

zone militaire. Ainsi, l'accès en 2023, et ensuite en 2024, ne sera obtenu *in extremis* qu'avec l'aide de l'ambassadeur du Turkménistan. Seul l'accès aux crêtes et hauts plateaux du Mont Aýrybaba nous est refusé car ils sont trop proches de la frontière ouzbèke.

CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES DE LA RÉGION DU KÖYTENDAG

Köýtendag signifie « montagne infranchissable » en Tadjik. Le massif du Köýtendag est le dernier maillon occidental de la chaîne du Pamir-Alaï qui s'étend plus à l'est vers le Tadjikistan, le Kirghizstan et l'Ouzbékistan. Le Köýtendag constitue la frontière orientale du Turkménistan avec l'Ouzbékistan, et sa pointe sud se termine sur la rive droite de l'Amou Daria, fleuve frontière avec l'Afghanistan. Ce massif culmine à l'Aýrybaba (3139 m), point le plus haut du Turkménistan. Le massif est allongé dans le sens nord-sud sur environ 60 km, pour une largeur de 12 à 20 km (figure 1). Son profil est dissymétrique, avec à l'ouest, côté turkmène, un versant s'élevant régulièrement vers l'est avec une pente de 20° jusqu'aux crêtes sommitales, qui finit brutalement côté est en Ouzbékistan sur une paroi continue de 1000 m de hauteur. La pente du versant turkmène est principalement structurale. Elle est entaillée d'une multitude de canyons, profonds de plus de 300 m, et jusqu'à 700 m pour les plus importants, rendant le parcours transversal à niveau quasiment impossible. La végétation passe en altitude de la pelouse à une forêt claire de genévriers et tamaris, puis à des espaces rocheux. Au-delà vers l'ouest, s'étendent des steppes puis le désert du Karakum qui occupe l'essentiel du territoire turkmène. Si les précipitations sont limitées à 120 mm par an à Köýtendag située aux portes du désert, elles sont plus conséquentes au pied du massif (150 mm) et surtout en altitude, probablement le double. S'agissant d'un climat continental, les étés sont torrides, mais les hivers peuvent être glacials, avec des températures descendant à -15°C en vallée, bien que l'on soit à la même latitude que la Sicile. L'hiver 2024 fut particulièrement rigoureux, avec de la neige en plaine et des températures jusqu'à -25°C. En conséquence, la neige se maintient sur les crêtes au printemps, le tout alimentant des petites sources au débouché de certains canyons. La plus importante, Gaynar Baba, jaillit à la pointe sud du massif à 330 m d'altitude, son débit est estimé à 1,5 m³/s. Tous ces écoulements se perdent dans la plaine où coule l'Amou Daria, vers 265 m d'altitude.



† Collines de gypse au premier plan et mont Aýrybaba enneigé en arrière-plan.

†† Le plateau du Köýtendag est entaillé par des canyons profonds. Clichés Philippe Crochet

GÉOLOGIE DU MASSIF

La dalle karstifiée est constituée de calcaires du Jurassique supérieur, épais de 400 m (figure 2) avec un faciès récifal massif aux coraux de belle taille, passant à un faciès plus marneux et dolomitique au sommet (figure 2). Par endroits, ces calcaires sont faiblement métamorphisés, silicifiés, et piègent des matières bitumineuses sans doute en partie à l'origine de la karstification [Maltsev, 1997]. En effet, plus à l'est, ces calcaires sont le principal réservoir turkmène piégeant les gaz issus des marnes noires sous-jacentes. Ces marnes/flyschs (Bathonien-Bajocien) sont épaisses de 300 m, avec quelques passées volcaniques. Cette série sédimentaire repose en discordance sur le socle métamorphique du Précambrien qui est composé de gneiss et percé par l'intrusion d'un batholite granitique hercynien [Maltsev & Self, 1992]. Les calcaires du Köýtendag sont recouverts en concordance par les évaporites de Gowurdak (ou Gaurduck), épaisses de 200 m, et principalement constituées de gypse (Kimméridgien-Tithonien). Ces évaporites sont recouvertes par des marnes vertes et des grès rouges d'âge crétacé, formant des paysages

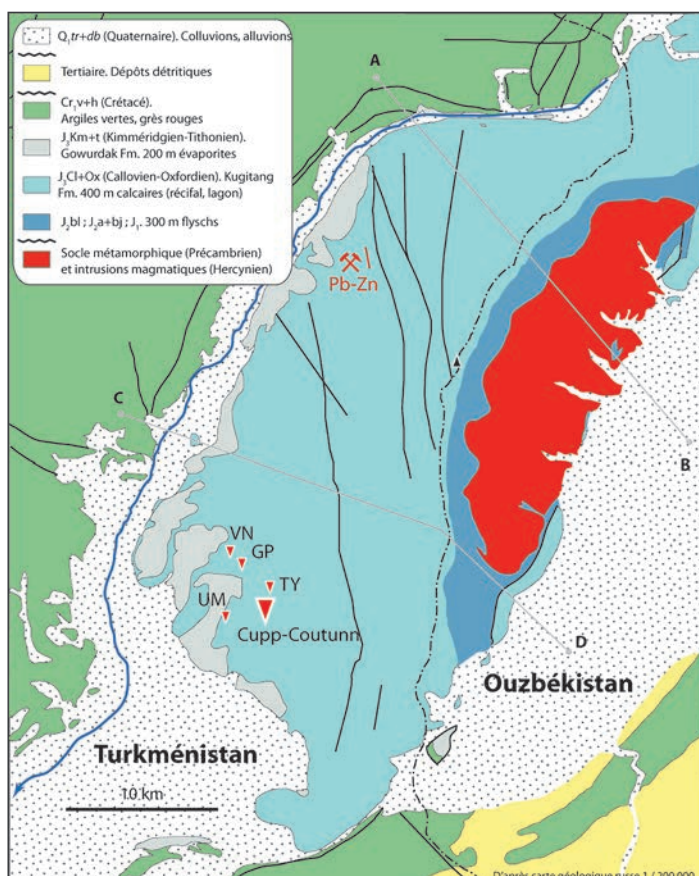
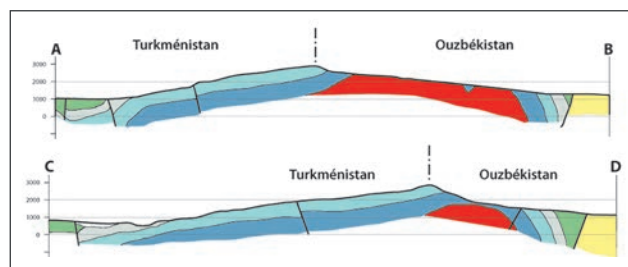


Figure 2: Carte et profils géologiques du massif du Köytendag (d'après la carte géologique russe au 1/200 000, modifiée).



Cratère d'effondrement dans la plaine où les formations de gypse affleurent. Ce cratère peut être considéré comme un cénote dans la mesure où il constitue un regard sur la zone noyée. Cliché Annie Guiraud



Entrée de la grotte de Kaptarhana dans une colline de gypse. Cliché Philippe Crochet

ravinés superbes sur le versant ouest (rive droite) de la vallée de Köytén. Enfin, des dépôts du Néogène comblent les bassins environnants.

Le Köytendag est un dôme anticlinal dissymétrique, avec des pentes douces (env. 7-20°) côté ouest. Il est accidenté de grandes failles nord-sud; celle de Chilghaz décale le plateau en deux « marches ». Au nord, des anciennes mines ont exploité des gisements de plomb-zinc en filons sur l'une de ces failles.

D'autres failles secondaires E-O et NO-SE jouent notamment un rôle d'organisation des réseaux localisés au sud. Le grand accident régional E-O de Repetek passant tout au sud du massif est à l'origine du couloir de l'Amou Daria. Le massif s'est soulevé en plusieurs phases, depuis le début du Tertiaire (Paléocène) jusqu'au Quaternaire moyen [Maltsev & Korshunov, 1998].

Le gypse a été érodé sur l'essentiel de la surface du plateau, mais il est encore présent au pied du massif, où se développe un karst de gypse spectaculaire, constitué d'une multitude de cratères d'effondrements, certains atteignant la nappe, d'autres développant des réseaux horizontaux de grand volume de plusieurs centaines de mètres de développement.

Sur le plateau calcaire, les traits karstiques sont inexistantes: ni lapiaz, ni doline, encore moins d'entrées de gouffres. Les grands réseaux (Cup-Coutunn) sont en fait d'anciens réseaux profonds qui ont été recoupés fortuitement par les canyons.

Les cristallisations de gypse

Les réseaux souterrains du Köýtendag recèlent des cristallisations de gypse (chandeliers, stalagmites creuses, etc.) d'une ampleur et d'une beauté comparables à celles de Lechuguilla aux États-Unis. Ici, le gypse provient pour partie des sols sus-jacents. De faibles infiltrations chargées de sulfates précipitent en arrivant dans les galeries (figure 3). L'autre partie provient de l'oxydation des pyrites contenues dans la roche (croûtes de paroi, fleurs et crosses). Tous ces ornements de gypse peuvent cristalliser grâce à l'atmosphère desséchée des grottes. Sous les climats européens plus humides, le gypse très soluble disparaît la plupart du temps.

Les chandeliers sont formés de grands cristaux de gypse transparent, par une croissance très lente à l'extrémité. Les autres cristallisations sont formées de fibres qui croissent par la base et poussent telles des brins d'herbes. Les crosses sont constituées de plusieurs fibres accolées qui se courbent, voire s'enroulent au fur et à mesure de leur développement, souvent à partir d'une pyrite en cours d'oxydation. Les aiguilles poussent par évaporation et cristallisation des sulfates dissous dans les sédiments meubles. Les stalagmites creuses, innombrables et atteignant plusieurs mètres de hauteur dans les grottes du Köýtendag, résultent des phénomènes de condensation et d'évaporation. La condensation se produit dans les coupoles les plus élevées, car plus fraîches. L'eau de condensation tombe au sol et dissout l'épais tapis de poussière de gypse, créant un puits à cannelure. Comme l'atmosphère est très sèche, l'humidité du fond du puits remonte par capillarité en dissolvant le gypse et en se chargeant de sulfates en solution. Arrivée au niveau du sol, cette humidité s'évapore et reprécipite le gypse sous la forme d'une collerette autour du puits. Au fur et à mesure, cette collerette s'agrandit vers le haut et en épaisseur, formant progressivement une stalagmite donc le creux se maintient par la chute des gouttes de condensation.

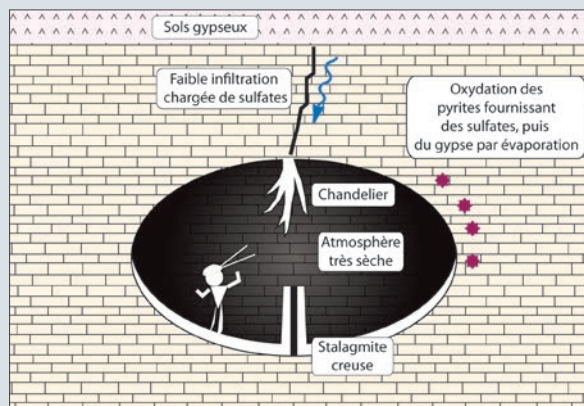


Figure 3: Origine des cristallisations de gypse, depuis les infiltrations chargées de sulfate et l'oxydation des pyrites de la roche.

HISTORIQUE DES EXPLORATIONS

Le système des grottes de Gap-Gotan au Turkménistan était déjà très connu il y a deux mille ans (« Bibliotheca Historica » de Diodorus Siculus, -49 a.c.). La connaissance de ces grottes s'est ensuite perdue jusqu'au début des années 1950. Comme dans les autres anciennes républiques de l'Union soviétique de l'Asie centrale (Kazakhstan, Kirghizistan, Ouzbékistan, Tadjikistan), les expéditions spéléologiques ont été principalement le fait d'équipes russes jusque dans les années 1990.

Jo devant des cristaux de fluorite, d'origine hydrothermale, dans Geophysicheskaya. Ces minéralisations, dues à une phase hydrothermale ancienne, ont été recoupées par les conduits des grottes. Cliché Philippe Crochet



Les premières explorations spéléologiques ont eu lieu entre 1956 et 1964, par le géologue russe Sultan Yalkapov qui a élaboré les premiers plans de Hashimoyuk (3 km) et de Gap-Gotan (5 km), et a également découvert de nouvelles grottes. Malheureusement, ce dernier a publié un article qui suggérait une possibilité d'extraction de sa richesse en onyx pour l'ornement. L'exploitation minière a commencé à la fin des années 1950 et s'est poursuivie pendant 20 ans, ce qui a entraîné une dégradation significative de ce monument naturel unique.

Il existe peu d'écrits sur les premières visites antérieures aux années 1980. Un des premiers explorateurs en 1981 à Promezhutochnaya est le minéralogiste soviétique Victor Stepanov. Vladimir Arkadievich Maltsev (1957-2014) de l'Institut VNIIGEOSYSTEM de Moscou, est arrivé pour la première fois dans la région au cours des années 1980. À la fois géologue, spéléologue et photographe, il a été un des piliers de l'exploration du massif de Köýtendag. Les spéléologues de Samarcande ont également découvert de nouvelles grottes et prolongé Gap-Gotan. Une très grande suite a également été retrouvée au cours des travaux miniers dans la petite grotte de Promezhutochnaya.

Entre 1970 et 1982, les destructions des cavités causées par l'exploitation minière sont telles que Maltsev lance à partir de 1980 une campagne pour y mettre fin et promouvoir leur protection. Cette campagne qui durera un an est largement soutenue, notamment par les spéléologues, les instituts scientifiques et les médias. À la plus grande surprise de Maltsev, celle-ci porte ses fruits, malgré quelques tentatives de réexploitation qui ont valu au spéléologue local Koutouzov, et son ami, de



Maltsev lors d'une exposition de ses photographies au musée géologique. Cliché V.V. Erchov (MGGU)

résister à un siège d'un mois et demi après s'être barricadés dans la grotte de Gulschirin (Geophysicheskaya).

L'étude des grottes a commencé lorsque l'exploitation a été arrêtée. La grotte de Gap-Gotan a été reliée à la grotte Promezhutochnaya, portant le réseau à un développement de 56 km. De nouvelles cavités ont été découvertes, notamment la grotte Gulschirin (Geophysicheskaya) en 1985, l'une des plus belles grottes car elle a échappé à la destruction.

Après la chute de l'URSS, il y eut quelques timides expéditions d'équipes européennes: une expédition britannique en 1991 et une rocambolesque expédition russe et suisse sur le Köýtendag en 1994 (cf. la revue *Cavernes*, n°1/2, 1995).

Giovanni Badino, José Maria Calaforra et Paolo Forti de l'association italienne La Venta ont fait une visite organisée à Gap-Gotan et dans la région du Köýtendag lors la tenue d'un congrès à Ashgabat en 2012.

ORGANISATION DE L'EXPÉDITION

Lorsque nous arrivons à Köýtén, au pied du Köýtendag le mercredi 10 avril 2024 pour la deuxième expédition, tout s'annonce sous les meilleurs augures. L'équipe est maintenant forte de 17 personnes, avec des spécialistes de différents domaines: topographie, photogrammétrie, biospéléologie, géologie, karstologie, photographie, recherche de nouvelles cavités et exploration. Après la reconnaissance de 2023, nous savons désormais ce qui nous attend, ce qui nous permet de définir deux objectifs principaux: prospecter en vue de trouver de nouvelles cavités et documenter les grottes connues. Nous sommes accueillis par le sommet de l'Aýrybaba encore tout chapeauté de neige et une vallée verdoyante couverte de cerisiers et d'abricotiers en fleurs. Les pluies abondantes de ce printemps ont permis à la végétation de se développer et les roses envahissent les jardins. Nous retrouvons avec plaisir notre camp de base, qui n'a rien d'un camp classique, car il s'agit de ce qu'on appelle ici le « village de vacances », apparemment le seul hébergement pour touristes de la vallée. Le Turkménistan n'est pas un pays qui accueille beaucoup de visiteurs et les seuls résidents du village de vacances sont des Turkmènes venus à Köýtén pour un week-end ou à l'occasion d'un mariage. Nous

Préparation du matériel au village de vacances de Köýtén qui constitue le camp de base. Cliché Annie Guiraud

sommes les seuls étrangers de la région. Les conditions y sont très confortables. L'agence Owadan, qui est en charge de la logistique de notre expédition, a bien fait les choses. Et dernière chose capitale, nous avons en poche notre sésame, la lettre d'invitation du ministère de l'Environnement turkmène donnant accès à la zone frontalière avec l'Ouzbékistan où se situent les cavités, un document précieux obtenu grâce à la persévérance et l'opiniâtreté de Jean-Pierre Gruat.

Il ne reste plus qu'à organiser nos activités sur le terrain. Et là, il faut composer avec les différentes contraintes et obligations. Tout d'abord, les équipes doivent être formées afin qu'elles puissent se répartir dans les quatre véhicules 4x4 dont nous disposons. Si certains spécialistes se consacrent à une seule activité (comme la biospéléologie, la karstologie et la photographie), d'autres participants, polyvalents, se joignent à différents groupes selon les besoins: un jour dans l'équipe topographie, un autre dans l'équipe photographie, etc. À l'exception toutefois des sorties de recherche de cavités qui doivent regrouper obligatoirement plusieurs voitures car les chauffeurs ne veulent pas s'aventurer à un seul véhicule sur les pistes de montagne. Nous devons former les équipes la veille afin que les autorités en soient informées, et qu'il puisse y avoir un « observateur » avec chacune d'elles.

À cela s'ajoute la gestion du temps et des horaires. Köýtén se situe à 40 min de route du checkpoint qui garde l'accès au camp militaire où se situent les principales cavités. Celui-ci n'ouvre qu'à 9 h. Là, le contrôle des passeports et du laissez-passer fourni par le ministère de l'Environnement prend 30 min à minima. Ensuite, nous avons un trajet entre 30 et 45 min sur de mauvaises



L'accès aux cavités après le poste de garde militaire se fait sur des pistes nécessitant des véhicules 4x4 Cliché Philippe Crochet



Moment
de détente
dans un
restaurant
de Köyten
où la
population
locale nous
a toujours
très bien
accueillis.
Cliché
Philippe Audra

pistes pour atteindre les entrées des cavités. Sachant que le checkpoint doit être franchi au retour à 17 h au plus tard, il ne nous reste que quelques heures sur place pour les explorations. À nous de faire le maximum dans le temps imparti. Chaque jour, nous sommes accompagnés du directeur scientifique de la réserve naturelle du Köýtendag, Shaniyaz Menliev, qui connaît bien le massif et les cavités, parfois d'autres employés de la réserve, ainsi qu'un ou plusieurs représentants du ministère de l'Environnement et des militaires, pour qu'aucune équipe ne se retrouve seule.

Au final, nous avons pu passer 21 jours sur place sur un séjour de plus de trois semaines au total (23 jours) si nous prenons en compte les 40 h de train et les 8 h de voiture aller-retour pour accéder au massif depuis la capitale, Ashgabat. Sept journées ont été consacrées à la recherche de nouvelles cavités, avec non seulement les habituelles limitations horaires, mais aussi géographiques car les véhicules n'ont pas pu nous amener très loin en altitude vu le mauvais état des pistes. Cependant, quelques escalades ont pu être tentées pour atteindre des ouvertures repérées dans des parois.

Malgré les contraintes, un gros travail de documentation a pu être effectué : la grotte de Gulschirin (Geophysicheskaya) a été couverte photographiquement et photogrammétriquement, 19 km de topographie ont été effectués au total, plusieurs porches d'entrées ont été repérés et explorés, un recensement des espèces animales dans les cavités et les sources karstiques ont permis de découvrir des espèces nouvelles pour le Turkménistan et pour la science. Les premiers éléments de bilan de l'expédition ont été communiqués au cours d'une conférence donnée, sur notre trajet de retour, à l'Institut français d'Ashgabat, en présence de M. Merlin, ambassadeur de France au Turkménistan.

RECHERCHE DE NOUVELLES CAVITÉS

La recherche de nouvelles cavités était un objectif majeur de notre expédition. En 2023, l'accès à la partie « montagne » nous avait été refusé, mais cette année, nous avons l'autorisation de parcourir tout le massif, nous en profitons donc pour prospecter quatre principales zones.

Sur la plaine au pied nord-ouest du massif, le calcaire disparaît sous un recouvrement de gypse. Philippe A. et Xavier ont repéré sur Google Earth des taches sombres évoquant des résurgences. Il s'agit en fait de véritables cénotes dont nous faisons l'inventaire



Reconnais-
sance d'un
porche en
paroi à partir
du plateau.
Cliché
Alexandre
Pont

(position, photographies, topographie sommaire...). Ils présentent une morphologie semblable avec des orifices de forme circulaire dépassant les 20 m de diamètre et des parois très friables constituées essentiellement de galets issus de l'érosion du massif. L'eau occupe toute la surface une vingtaine de mètres plus bas. Depuis le haut, la clarté de l'eau éclairée par les rayons du soleil laisse entrevoir des parois verticales et un vaste puits noyé profond et en cloche. L'un de ces cénotes (Provull) avait été plongé par le Russe E. Voidakov jusqu'à une profondeur de 58 m en 1985. Le reste de nos recherches dans ces zones de gypse est facile sur ces pentes sans végétation. On y trouve des formes karstiques



Recherche
de nouvelles
cavités dans
un canyon.
Cliché Jean-
Marie Briffon



Petite zone de gypse au nord-ouest du massif.
Cliché Jean-Marie Briffon

classiques : alignement d'énormes dolines, puits, fissures, pertes, ainsi que des dépressions jusqu'à 70 m de diamètre résultant de l'effondrement de vastes salles. La prospection est facile, certes, mais avec peu de découvertes. Nous retrouvons des cavités connues des équipes russes, que nous topographions et analysons (minéralogie, biologie...), comme Kaptarhana ou Soouk-Komar. Sur l'extrémité nord-ouest, l'exploration d'un petit massif de gypse permet de découvrir de petits réseaux. Mais la roche, broyée, ne rend pas très engageant le franchissement d'éboulis instables. Le potentiel est par ailleurs réduit du fait de la faible étendue de cette zone.

Un deuxième axe de recherche réside dans l'exploration des nombreux canyons longs parfois de plusieurs dizaines de kilomètres qui descendent de la crête sommitale. Les parois présentent par endroits des points sombres évoquant des porches ou des entrées de grotte. La plupart du temps il ne s'agit que de simples « bulles » sans continuation. Xavier et Gaël, après une escalade délicate, trouvent un réseau de quelques dizaines de mètres. Par ailleurs, deux porches s'ouvrant au milieu d'une paroi verticale de 300 m avaient été repérés en 2023. Une première équipe composée d'Alex, Jean-Philippe et Fredo tente une descente depuis le bord du plateau, mais ne pouvant deviner la position des porches, elle se retrouve trop à l'est. Quelques jours plus tard, Gaël atteint en solo les ouvertures : rien ! Apparemment, sur ce secteur, les canyons ne recoupent pas d'anciens réseaux.

Une autre zone de recherche se situe sur l'extrémité sud-ouest du massif, dans le camp militaire, dans les canyons autour des cavités concrétionnées. L'équipe se heurte aux mêmes difficultés que sur le reste du massif, aggravées par le fait que le temps de présence quotidien efficace est limité à six heures. Pourtant ici, des réseaux existent. En dehors des cavités majeures connues que nous avons documentées, les équipes russes en ont listé une vingtaine de moins de 500 m de développement. Elles restent introuvables et les gardes du camp ne semblent pas les connaître. Les



Canyon de Geophysicheskaya. Cliché Jean-Marie Briffon

Antécime du mont Aýrybaba où les calcaires affleurent. Cliché Jean-Paul Hérel



entrées des réseaux connus sont étroites et souvent invisibles. À l'époque, l'accès aux galeries avait nécessité une longue désobstruction, comme à Tush-Yurruck, voire le creusement de véritables galeries de mines. Cet aménagement était motivé par l'exploitation commerciale des coulées de calcite rubanée, appelée à tort « onyx » par les mineurs. Comment trouver d'autres entrées sans l'aide des habitants qui à l'époque ont découvert ces réseaux ?

Enfin, le dernier objectif est la recherche des entrées en altitude. Or, les chauffeurs ne veulent pas s'aventurer très haut sur les pistes de montagne. Lors d'une première tentative, Jean-Marie, Claire et Jean-Pierre, partis de 1100 m, atteignent un immense plateau incliné recouvert de pelouse mais n'observent aucune trace de phénomène karstique. Le calcaire est bien là, rarement visible, car presque toujours recouvert de 50 cm de sol. Ils poursuivent et parviennent enfin à 2100 m d'altitude au pied d'un escarpement plus minéral, mais il est déjà l'heure de redescendre.

Quelques jours plus tard, Jean-Marie, Claire, Jean-Paul, Gaël et Fredo font une nouvelle tentative. Ils atteignent une antécime à 2400 m qui donne un aperçu de la zone sommitale. Le paysage y est purement minéral : pierriers, parois verticales, canyons confluents. À l'est, le sommet enneigé de l'Aýrybaba domine, 700 m plus haut. La zone qui l'entoure semble propice pour recéler un gouffre important, par rapport à l'inclinaison idéale des strates sans fractures. Sur la carte russe, une grotte est pointée : elle est située à 700 m de distance et 150 m de dénivelé. L'équipe tente de l'atteindre, mais

	Développement	Profondeur
Hanaka	196 m	39 m
Karabulak Gypsum Collapses	63 m	20 m
Suwly-Oyuk	44 m	20 m
Soouk-Komar	658 m	39 m
Kaptarhana	727 m	35 m
New collapse 2022	71 m	38 m
Russes-CA	63 m	5 m
Grotte des chauves-souris	93 m	18 m
Petit Général	8 m	1 m
Grotte des Chèvres	22 m	3 m
Gap-Gotan (partiel, manque env. 46 km)	4 065 m	193 m
Geophysicheskaya	3 879 m	72 m
Hashim-Oyuk	5 435 m	158 m
Tush-Yurruck	3 623 m	52 m
Vertikalnaya	545 m	72 m
Total	19 491 m	

Tableau 1 : Développement des cavités topographiées.

Figure 4 : Report des cavités topographiées de la zone sud du massif.

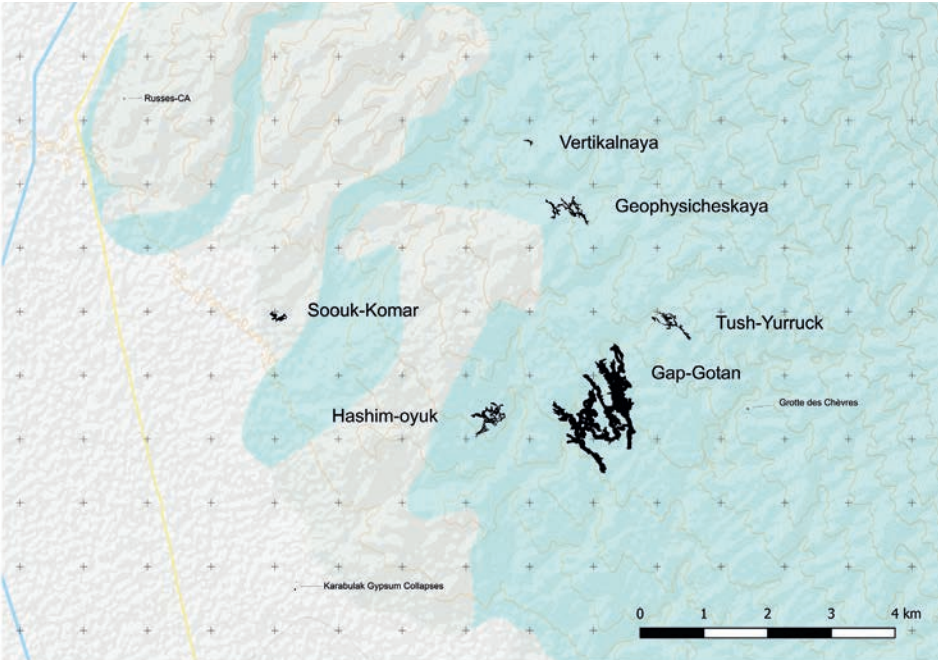
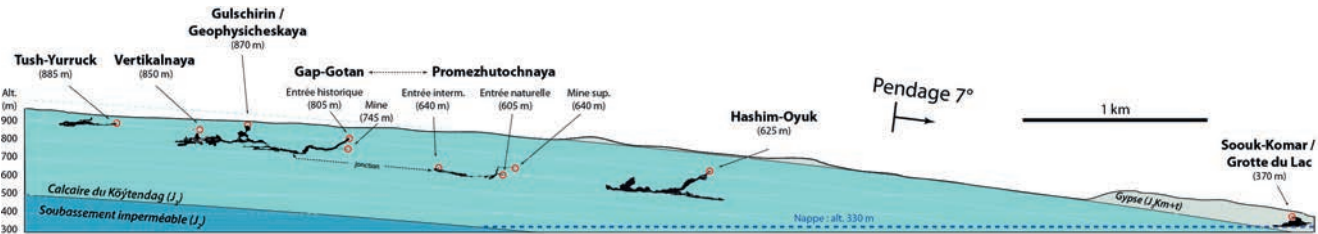


Figure 5: Profil de la partie sud-est du massif du Köýtendag avec projection des principales cavités (réalisé par Philippe Audra).



hélas, après cinq minutes de marche, un canyon aux parois verticales d'une centaine de mètres de profondeur coupe la progression. Le contourner prendrait plusieurs heures. Il faut abandonner ! À la jumelle, Gaël repère enfin des entrées plus en hauteur dans la paroi opposée. Frustration !

LA TOPOGRAPHIE

La topographie a été un des volets principaux de l'expédition avec une équipe importante composée de Jean Paul, Alexandre, Jean-Pierre, Bernard, Jean-Philippe, Jean-Marie, Xavier, Jo et Philippe A. En effet, s'il existait déjà des topographies des principaux réseaux faites par les spéléologues russes dans les années 1980, celles-ci n'étaient pas disponibles dans des formats détaillés (elles sont en version papier). Par ailleurs, les techniques ont beaucoup évolué : elles sont désormais réalisées au DistoX à visée laser avec récupération des données sur téléphone (Topodroid). Puis, les calculs et les dessins sont faits sur ordinateur avec les logiciels Therion ou Topo Calc'R.

Forts de leur expérience antérieure, les chefs topographes avaient parfaitement organisé les levés, afin de s'y retrouver lors de la fusion des données successives : des stations numérotées préalablement aux points carrefours, les stations de parcours étant simplement matérialisées par un petit cairn avec un

point rouge, et les « culs-de-sac » déjà topographiés avec une croix rouge. Trois personnes composaient généralement une équipe topographie : une aux notes, une à la mesure au DistoX, et une dernière dans le rôle d'éclaireur, appelé « lapins », qui courait devant pour repérer passages, carrefours et stations idoines. Bref, une véritable organisation militaire, sans faille possible, qui a été une seule fois mise à mal quand l'un des « lapins » s'est retrouvé devant des croix rouges partout, un équipier ayant mal compris les consignes.

Au final, un gros travail a été effectué : il y a eu jusqu'à cinq équipes par jour dédiées à la topographie. Elles ont visité 15 cavités et levé environ 19 km de topographie, ce qui représente 8 571 stations topographiques. Bien que la première au sens strict soit limitée, les chasseurs de calcite et les expéditions russes dans les années 1990 ayant été des explorateurs efficaces, toutes ces topographies permettent d'avoir une vision globale des réseaux connus à ce jour et d'orienter les futures recherches.

Le tableau page précédente (tableau 1) récapitule la spéléométrie des cavités topographiées. Elles sont reportées sur le plan de la figure 4. Le profil de la partie sud-est du Köytendag avec projection des principales cavités (figure 5) montre qu'elles s'organisent en niveaux horizontaux étagés sur 350 m de dénivelé, actuellement « fossiles » et perchées plusieurs centaines de mètres au-dessus de la nappe.

Photogrammétrie de Geophysicheskaya

En parallèle du travail de topographie, la grotte de Geophysicheskaya (à la fois la plus préservée et esthétique des cavités du secteur) a fait l'objet d'une opération de modélisation 3d par photogrammétrie. L'objectif était de numériser tout ou partie de la cavité afin d'en enregistrer précisément sa géométrie, servant ainsi de base de travail pour les karstologues (étude de la structuration des galeries, indices sur la spéléogénèse, zonation des morphologies de parois et des concrétionnements de gypse...) mais aussi de pouvoir plus tard proposer une vision immersive de cette grotte exceptionnelle en complément des photographies.

Pour cette mission, Gaël (thésard à Géosciences Montpellier et Cenote) équipé d'un projecteur LED puissant et d'une paire de caméras de type GoPro a pu parcourir en long, en large et en travers les galeries de Geophysicheskaya pendant quatre journées. L'acquisition et la position des photographies sont ainsi dépendantes du trajet parcouru dans les galeries, planifié pour éviter les zones d'ombre et maximiser le recouvrement d'images, essentiel à la précision du modèle final. À l'extrême opposé de l'approche des photographes (les porteurs de flashes se reconnaîtront...), la captation photogramétrique vise plutôt à générer un maximum d'images, plates et peu esthétiques, en un minimum de temps passé sous terre. Plus de 50 000 clichés couvrant plus de 1,3 km de galeries avec des angles de vues variés (sols, plafonds, blocs, parois, concrétions...) ont été ramenés pour constituer la base du calcul photogramétrique ultérieur.

Le traitement des images a ensuite permis de générer une enveloppe 3D finale qui a pu être géoréférencée en utilisant les repères topographiques préexistants laissés par l'équipe topographie, garantissant ainsi son bon positionnement dans l'espace et sa précision.

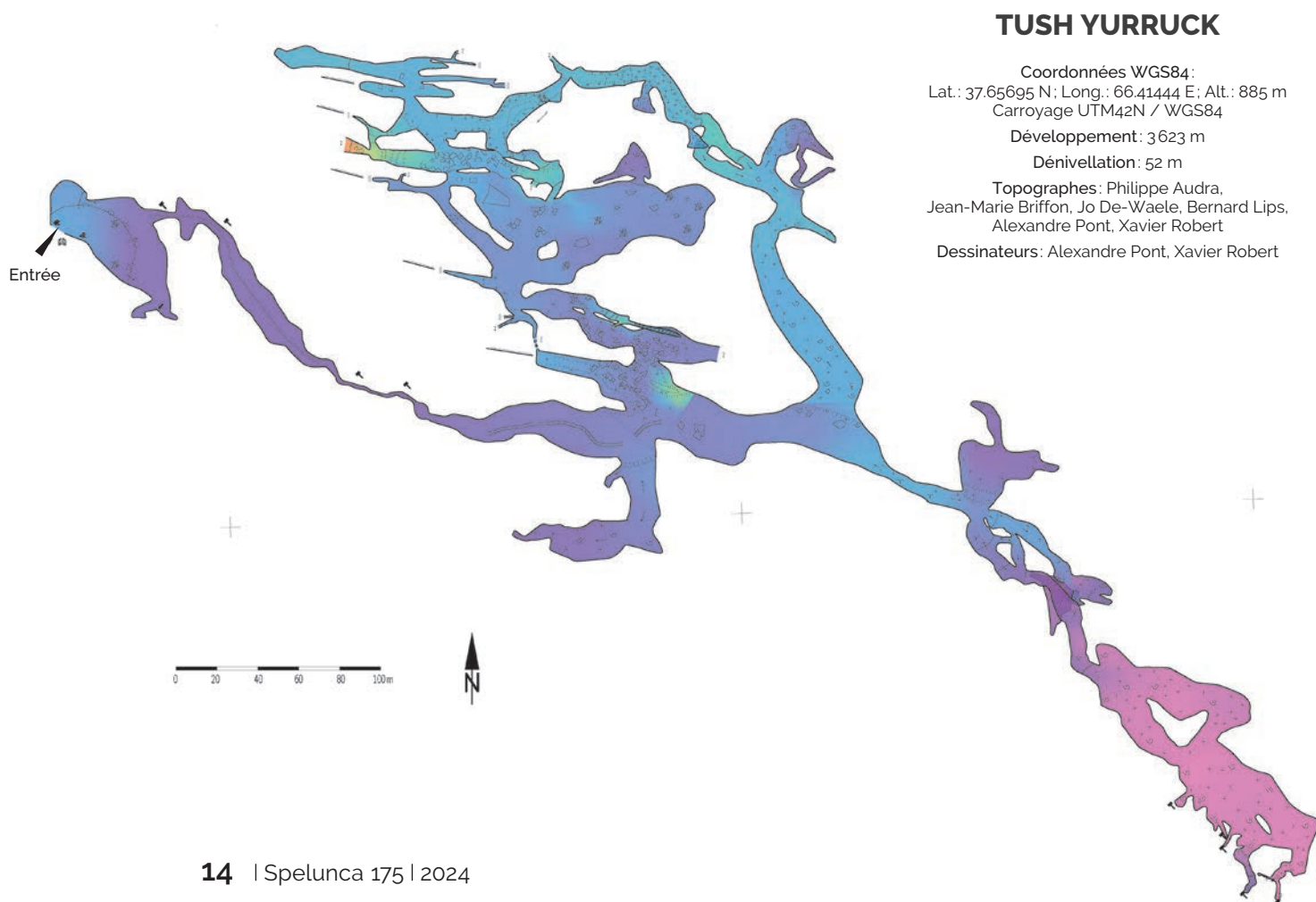
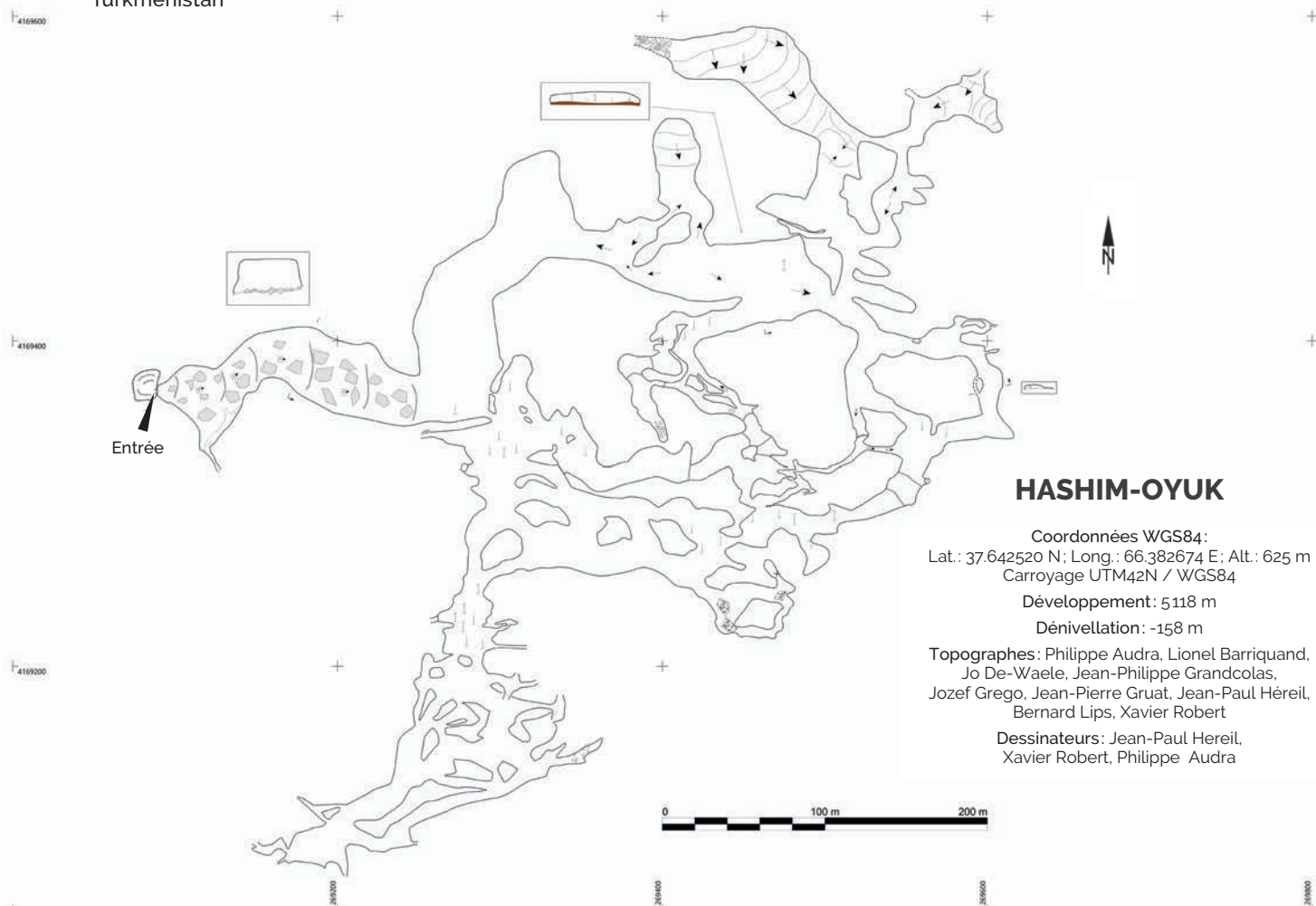
Même si le travail sur les modèles 3D est toujours en cours, les résultats obtenus ont permis de valider la viabilité de la photogrammétrie pour des projets de numérisation de grande envergure et offre ainsi une bonne alternative à la lasergrammétrie lorsque le temps alloué sous terre est un facteur limitant.



Gaël en train de scanner la grande salle de Geophysicheskaya. Cliché Philippe Crochet



https://www.youtube.com/watch?v=198CEYpp5K8&ab_channel=cenote



GULSHIRIN (GEOPHYSICHESKAYA)

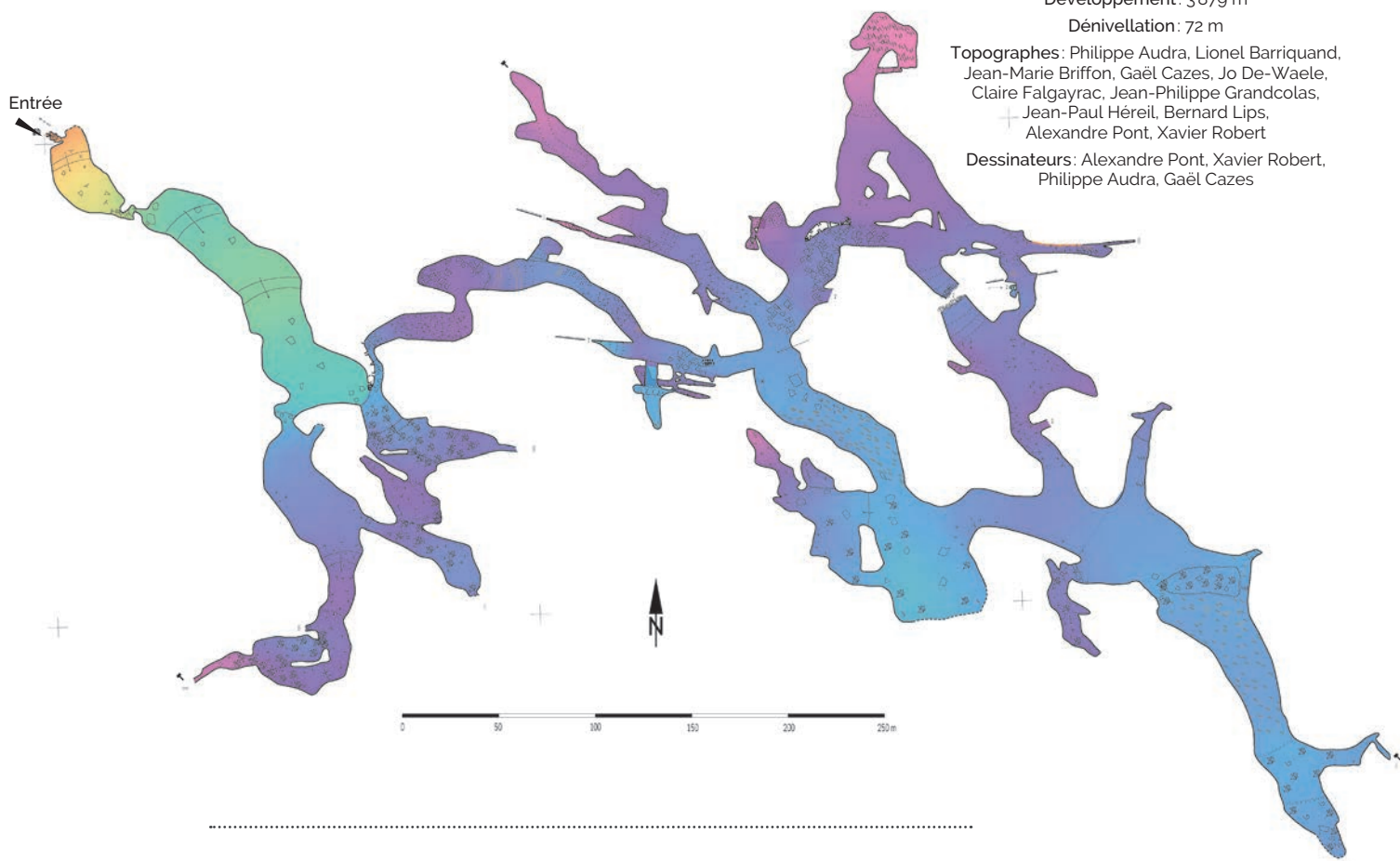
Coordonnées WGS84:
Lat.: 37.673152 N; Long.: 66.394767 E; Alt.: 856 m
Carroyage UTM42N / WGS84

Développement: 3 879 m

Dénivellation: 72 m

Topographes: Philippe Audra, Lionel Barriquand,
Jean-Marie Briffon, Gaël Cazes, Jo De-Waele,
Claire Falgayrac, Jean-Philippe Grandcolas,
Jean-Paul Héreil, Bernard Lips,
Alexandre Pont, Xavier Robert

Dessinateurs: Alexandre Pont, Xavier Robert,
Philippe Audra, Gaël Cazes



VERTICALNAYA

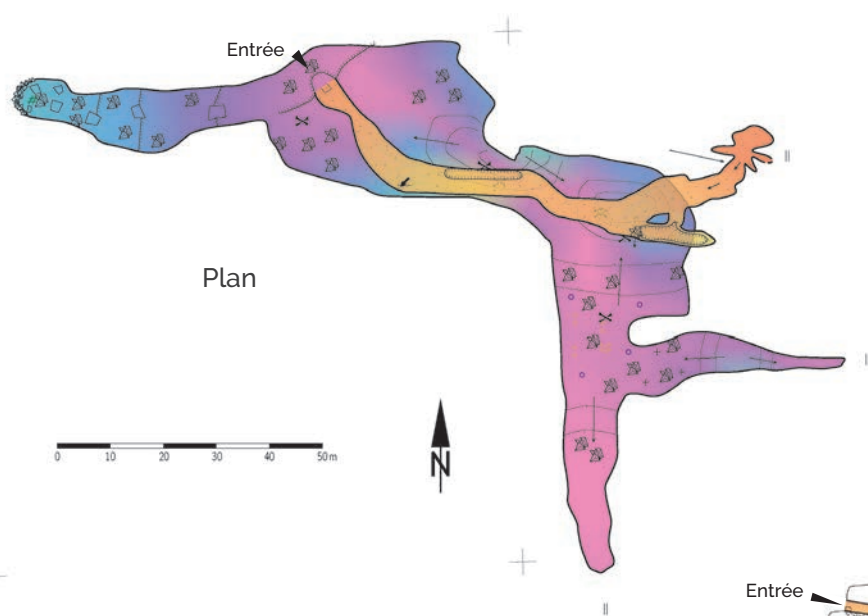
Coordonnées WGS84:
Lat.: 37.6817 N; Long.: 66.3914 E; Alt.: 850 m
Carroyage UTM42N / WGS84

Développement: 545 m

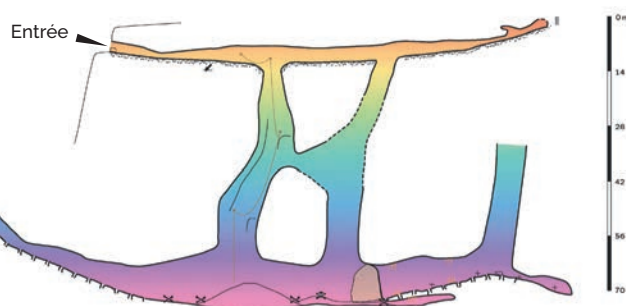
Dénivellation: 72 m

Topographes: Philippe Audra,
Jean-Marie Briffon, Jean-Philippe Grandcolas,
Alexandre Pont

Dessinateur: Alexandre Pont



Section longitudinale développée



BIOLOGIE SOUTERRAINE DU KÖYTENDAG

Bien que le domaine souterrain soit une partie très importante de la biodiversité, force est de constater actuellement que celle-ci est encore trop souvent omise des études. Pourtant, il a été montré que ce domaine est habité par des espèces animales classées comme reliques climatiques, capables de survivre à des millions d'années de changements climatiques à l'échelle du globe, et pouvant survivre à une désertification ainsi qu'à des fluctuations de salinité de l'eau.

L'étude de la faune souterraine du Köýtendag a débuté en 1963 par les équipes russes [Birstein & Ljovushkin, 1967]. De 2013 à 2015, un vaste programme de recherche sur la faune du Turkménistan a été mené dans le cadre du Mémorandum d'accord entre le ministère turkmène de l'Agriculture et de la protection de l'Environnement et la Société royale pour la protection des oiseaux (Royaume-Uni) dans le cadre du projet « Amélioration de la situation des oiseaux et des autres espèces de la biodiversité au Turkménistan ». Les auteurs précisaient que la connaissance de la faune souterraine du Köýtendag demeurait très limitée et seules 26 espèces d'invertébrés étaient publiées. La faune déterminée par l'équipe provenait de six cavités et



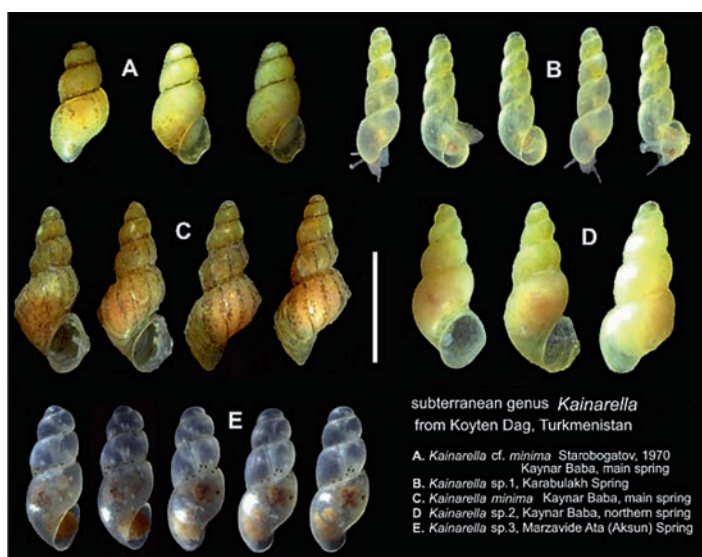
Isopode
aquatique,
*Stenasellus
asiaticus*, dans
la source de
Gaynar Baba
(taille : 1 cm).

Pseudoscorpion
(avec ses œufs)
dans le guano
de Kaptarhana
(taille : 4 mm).
Clichés Josiane Lips



← Figure 6 :
Répartition
des spécimens
collectés.

↓ Espèces du
gastéropode
stygie du genre
Kainarella
collectées
lors de
l'expédition
de 2024.



quatre anciennes mines. L'étude portait principalement sur la faune aquatique (diverses sources ont également été échantillonnées) mais la faune terrestre avait également été étudiée. Cela a confirmé la présence des espèces déjà citées, en augmentant bien souvent leur aire de répartition, et a permis de collecter d'autres espèces, en particulier deux nouvelles pour la science de *Gammarus* (dont l'une est un troglobie évolué) et trois de coléoptères nouveaux pour la région ainsi que des collembolés et des araignées. L'équipe a également collecté le premier troglobie terrestre du Turkménistan : un diploure, *Turkmenocampa mirabilis*, nouveau pour la science et premier diploure d'Asie centrale.

En 2023, Josiane Lips était la seule biologiste de l'expédition. Elle s'est essentiellement consacrée à la faune souterraine terrestre. En 2024, Josef Grego, spécialiste slovaque des mollusques, faisait également partie de l'équipe. Ils ont étudié la faune terrestre et aquatique des cavités et des sources. Lors des deux expéditions, huit cavités, quatre anciennes mines et une dizaine de sources ont été échantillonnées.

La faune s'est avérée très différente d'une cavité à l'autre, aussi bien du point de vue de la quantité (de spécimens ou d'espèces) que de la composition. Cependant, globalement, la faune souterraine a été relativement pauvre, comme souvent en Asie centrale. Le fait que les cavités soient pour la plupart très sèches doit contribuer à cette pauvreté. Toutefois l'équipe de biologistes a recensé environ 150 espèces d'invertébrés terrestres dans les cavités. Les déterminations précises demandent beaucoup de temps d'observation et sont toujours en cours. Ils ont pour le moment simplement classé les spécimens en morpho-espèces. À partir de ce premier tri, il est possible d'affirmer que nombre d'espèces récoltées sont nouvelles pour le Turkménistan

et que plusieurs (probablement de l'ordre d'une dizaine) seraient nouvelles pour la science.

La faune des sources s'est également révélée très intéressante. Josiane et Josef ont retrouvé la plupart des espèces citées dans la littérature, mais ils ont également collecté beaucoup d'espèces nouvelles, aussi bien des gastéropodes que des crustacés. La faune souterraine d'eau douce (stygofaune) de la région du Köýtendag héberge plusieurs reliques d'espèces de gastéropodes et de crustacés de l'ancien lac saumâtre Paratéthys (plus de 4 000 km de long) et leur étude moléculaire en cours pourrait apporter des informations très importantes sur la formation du bassin tadjik et de la mer Caspienne.

L'expédition de 2023 avait eu lieu en mai alors que celle de 2024 a eu lieu en avril. Les conditions climatiques étaient différentes, avec plus de fraîcheur et d'humidité en 2024, ainsi que plus de neige sur les parties sommitales du massif. De ce fait, la faune des cavités s'est avérée très différente d'une expédition à l'autre, et ce pour les mêmes cavités. Certaines espèces très communes en 2023 étaient absentes en 2024, en particulier concernant la communauté du guano dans la grotte de Kaptarhana ou les diplopodes de la grotte de Gulschirin. Et, inversement, des groupes absents en 2023 (les isopodes par exemple) étaient représentés dans beaucoup de cavités et par diverses espèces en 2024. Cela met peut-être en évidence une saisonnalité dans la faune cavernicole.

RELATIONS ENTRE KARST ET MAMMIFÈRES DANS LE MASSIF DU KÖYTENDAG

De nombreuses espèces de mammifères, autres que les chiroptères, utilisent ou fréquentent les grottes. Ces fréquentations sont plus ou moins longues dans le temps et répondent à des besoins spécifiques propres à l'éthologie de chaque espèce (hibernation, mise bas, recherche de charognes). Les fréquentations actuelles sont peu connues et mal documentées. Leur impact sur les grottes, l'organisation des activités dans celles-ci, et les co-fréquentations de différentes espèces sont très peu étudiées. Quelles traces laissent-elles ? Pourtant, ces questions sont posées régulièrement par les paléontologues lors d'études des gisements préhistoriques conservés dans le karst, et les rapprochements avec l'actuel ne sont pas nécessairement effectués par manque d'observations quantifiées.

Par ailleurs, des animaux sont régulièrement piégés dans le karst lorsqu'ils tombent et meurent dans des gouffres et des puits. Quelquefois, les puits livrent également des ossements humains. La question se pose alors sur l'origine de cette présence : chute involontaire, enfouissement des morts, assassinat, voire sacrifice ?

Enfin d'autres ossements peuvent être introduits dans le karst par un transport par l'eau ou par d'autres animaux pour leur propre consommation.

Le massif du Köýtendag constitue une aire géographique où 43 espèces de mammifères ont été enregistrées depuis 1995 [Georgiev et *al.*, 2019].

Parmi elles, se trouvent de grands herbivores : le markhor (*Capra falconeri*), l'urial (*Ovis orientalis*) et la gazelle à goitre (*Gazella subgutturosa*) ; de petits et grands carnivores : l'ours brun (*Ursus arctos*), le léopard (*Panthera pardus*), le lynx d'Eurasie (*Lynx lynx*), le loup gris (*Canis lupus*), le renard roux (*Vulpes vulpes*), le chat sauvage d'Asie (*Felis lybica*), la fouine (*Martes foina*), le blaireau européen (*Meles meles*), un grand rongeur, le porc-épic à crête indien (*Hystrix indica*), et un lagomorphe, le lièvre de Tolai (*Lepus tolai*). La hyène rayée (*Hyaena hyaena*) est également connue



L'homme est aussi présent dans le karst, comme le montre cette momie humaine au fond du puits de Vertikalnaya. De quand date-t-elle, pourquoi est-elle là (chute, sacrifice, assassinat, ou simple corps jeté ?). Cliché Jean-Marie Briffon



Grotte de Tush-Yurruk, piste de porc-épic, empreintes et traces laissées par les pincesaux. Cliché Lionel Barriquand

au Turkménistan, même si elle n'a pas été observée au Köýtendag depuis près de 30 ans.

Les relations entre les grottes et la faune du Köýtendag n'ont jamais été abordées. L'expédition de 2024 a permis une première approche de ces aspects et plusieurs sites permettent d'illustrer ces différentes relations. Ainsi les effondrements se produisant dans le gypse offrent des habitats de tailles modestes pour certains animaux. Vertikalnaya constitue un piège pour d'autres. Des ossements ont été transportés par l'eau dans Mumiyskaya. Enfin la grotte de Tush-Yurruk s'avère être un site exceptionnel où cohabitent différentes espèces: hyène, porc-épic, et aussi d'autres grands carnivores. Leur présence est marquée par de nombreuses bauges de formes et tailles différentes, des bioglyphes (polis, empreintes, griffades) et également de nombreuses fèces conservées du fait des conditions très sèches.

LA DOCUMENTATION PHOTOGRAPHIQUE DES CAVITÉS

La documentation photographique est un volet essentiel d'une expédition, hélas trop souvent négligé, car il permet de valoriser celle-ci, notamment pour la communication (comptes rendus, articles, demandes de sponsors). Par ailleurs, dans le cas de cette expédition, cet aspect a été mis en avant pour obtenir les autorisations des autorités locales qui y ont été très sensibles car elles ont vu là un moyen de mettre en valeur la richesse de leur patrimoine. La recherche bibliographique n'avait permis d'identifier que quelques photographies en noir et blanc datant des explorations russes il y a plus de 40 ans, et certaines plus récentes réalisées par Rémy Wenger lors d'une petite expédition « non officielle » dans les années 1990, et de Maltsev. La grotte de Gulschirin (Geophysicheskaya) n'avait pratiquement pas été documentée (sauf par Maltsev).

L'homme et le karst du Köýtendag

L'homme entretient aussi des relations particulières avec le karst. Ainsi, parmi les sources se trouvant à l'ouest de Köýtén, l'une d'elles a un statut spécifique car elle est utilisée uniquement à des fins médicales: la grotte de Kyrk Gyz (ou grotte des Quarante Vierges), un des grands sites touristiques du Köýtendag. Selon la légende locale, *à proximité de la cavité se trouvait un village paisible où les gens étaient travailleurs. Lors de l'arrivée de bandits, quarante vierges se seraient réfugiées dans cette grotte pour éviter d'être violées et assassinées. Là, elles auraient été nourries par une mystérieuse vieille femme (qui serait enterrée là). Lorsque les bandits les ont découvertes, les dieux ont montré aux femmes un moyen de s'échapper dans la grotte ou alors elles ont été transformées en anges selon les versions. Depuis, des gouttes s'écoulent de la montagne et reçoivent les larmes des vierges.* On y vient aujourd'hui en famille et la tradition veut que si l'on arrive à accrocher au plafond une languette de tissu à l'aide d'une boulette d'argile, le vœu que l'on fait se réalisera. Cette histoire pourrait avoir pour origine un culte très ancien. En effet, le Köýtendag est une région ayant appartenu à l'ancienne Margiane, satrapie de la

Perse. Elle connaît des établissements humains importants dès l'Âge du Bronze et l'on y pratique des rites pré-zoroastriens. La région est ensuite incluse dans l'empire perse dès la fin du VII^e siècle avant notre ère, puis macédonien après la conquête d'Alexandre le Grand. Ensuite, suivent les empires parthe et sassanide et un retour dans le monde perse. À la même époque, une religion atteint son apogée: le zoroastrisme. L'eau, la terre, le feu et l'air y sont des éléments vénérés car ils correspondent aux quatre éléments de la force créatrice du monde. Au milieu du VII^e siècle après le début de notre ère, l'Islam se développe et la plupart des Perses se convertissent. Un fort syncrétisme permet cependant l'intégration des religions antérieures. De fait, des communautés zoroastriennes et pré-zoroastriennes perdurent car la conversion vers l'Islam n'est pas obligatoire. Aujourd'hui, nombre des sanctuaires zoroastriens sont associés à des personnages engloutis ou protégés par différents sites [Vivier-Muresan, 2007], sans que nous ne sachions les nommer. Les pèlerinages, généralement collectifs, s'y déroulent tout au long de l'année, et s'accompagnent du partage d'un repas. Les sanctuaires zoroastriens correspondent avant tout à un site, plutôt qu'aux personnages associés, comme c'est le cas ici. La notion de pureté est également au cœur de cette religion. Comme pour la religion zoroastrienne, ce sont des figures pures et un « miracle » qui sont associées à ce sanctuaire qui a vraisemblablement son origine dans ces croyances.



Grotte de Kyrk Gyz (ou des 40 Vierges). Les parois et les plafonds de la cavité sont recouverts par des milliers de rubans de tissu. Cliché Philippe Crochet

C'était donc un beau défi qui attendait Philippe C. et Annie qui se sont entièrement consacrés à ce volet de l'expédition. Ils ont été aidés par des membres d'autres équipes, si bien qu'ils ont pu travailler à trois ou quatre, ce qui est une configuration optimale.

Ils se sont principalement attachés à documenter Gulschirin (Geophysicheskaya) qui est une cavité exceptionnelle. Sachant que le temps dans le pays et les heures quotidiennes étaient comptés, il fallait d'une part produire des images propres à en dévoiler la beauté, et d'autre part s'efforcer de couvrir la totalité de la cavité. L'objectif principal était bien évidemment l'illustration avec des éclairages mettant bien en valeur les sujets. Dans ce contexte, il n'y avait pas de place pour une recherche artistique qui aurait par ailleurs été superflue étant donné la beauté naturelle des sujets. Les photographies ont été réalisées uniquement avec des

flashes électroniques de différentes puissances (Yongnuo 560III, Godox AD300 et Godox AD600). Au total, treize journées ont été consacrées à la photographie, avec huit sorties à Gulschirin (Geophysicheskaya) (même si les possibilités d'y faire de belles images sont infinies), trois à Hashim-Oyuk, une à Promezhutochnaya et une à Kaptarhana, avec en moyenne une dizaine de clichés par sortie.

À l'issue de l'expédition, les photographies ont été remises gracieusement aux autorités turkmènes qui pourront les utiliser pour appuyer une demande de classement UNESCO, projet de longue date encore non abouti à ce jour. Nous espérons qu'elles pourront, d'une part, également les motiver pour fournir plus facilement aux expéditions futures les autorisations nécessaires pour la recherche de cavités sur le plateau, d'autre part, les inciter à protéger les cavités.

Des grottes exceptionnelles... mais certaines polluées et dégradées !

En deux semaines de spéléologie, Jo a eu la chance de visiter (et d'étudier) cinq grottes dans la zone militaire (frontalière) : Hashim-Oyuk (Hoshimiyuk), Gulschirin (Geophysicheskaya), Promezhutochnaya (Promeshutochnaya), Gap-Gotan (Cupp-Coutun) et Tush-Yurruck. Ce sont toutes des grottes découvertes et explorées avant l'éclatement de l'Union soviétique et la fondation de la République présidentielle du Turkménistan. À cette époque, l'exploration des grottes était principalement organisée par les spéléologues de Moscou, utilisant des frontales à piles et un équipement de spéléologie rudimentaire. La beauté et la richesse minéralogique des grottes ont malheureusement également attiré de nombreux collectionneurs de minéraux. Les principaux objectifs de ces opérations « minières » étaient les coulées de calcite stratifiées (appelés de manière erronée « onyx ») et les stalagmites de gypse creuses (utilisées comme lampes). Les grottes les plus accessibles, et donc les plus vulnérables, furent la proie des collecteurs de minéraux, qui en ont endommagé certaines belles parties (Hashim-Oyuk, Promezhutochnaya, Gap-Gotan et Tush-Yurruck). Pour faciliter l'exploitation minière, des tunnels ont été creusés (Promezhutochnaya et Gap-Gotan). Des installations minières abandonnées sont encore visibles aux entrées artificielles. D'anciens outils et équipements miniers peuvent être vus le long des sentiers (Hashim-Oyuk). Des passages étroits ont été artificiellement agrandis sur des centaines de mètres (Tush-Yurruck). Heureusement, Gulschirin a été épargnée des ravages, car sa découverte a eu lieu quelques années seulement avant l'indépendance du Turkménistan, donc l'exploitation minière n'a jamais commencé dans cette grotte.

Visiter Gulschirin permet de comprendre à quel point les autres grottes devaient être belles avant leur exploitation !

Lors de ses visites, Jo a remarqué de nombreuses piles usagées de différents types, des bouteilles en verre de 75 cl vides, du ruban de cassettes audio (utilisé pour baliser le chemin souterrain), des canettes et des boîtes de conserve vides, des bouteilles en plastique et des outils en fer (marteaux, burins, etc.), il a donc commencé à remplir son kit de déchets « russes ». La plupart de ces objets datent des années 1970-80, comme l'attestent les emballages portant des dates de péremption. Ils ont été laissés par les mineurs, les collecteurs de minéraux et aussi, et c'est triste à écrire, les spéléologues. Surtout à Promezhutochnaya et Gap-Gotan, de gros tas d'ordures ont été découverts à proximité des bivouacs souterrains. Au final, lors de ses douze sorties spéléologiques, Jo a réussi à sortir des grottes environ 75 kg de déchets, soit plus ou moins son propre poids ! Comme il ne pouvait pas enlever tous les déchets, il a évacué de préférence les piles (25 kg), le verre (23 kg), les outils en fer (17 kg), les boîtes de conserve (3,5 kg) et plus de 5 kg de déchets mélangés (y compris des Tampax !). Malheureusement, le ménage n'est pas tout à fait terminé, et il restera à effacer les trop nombreux tags, notamment dans

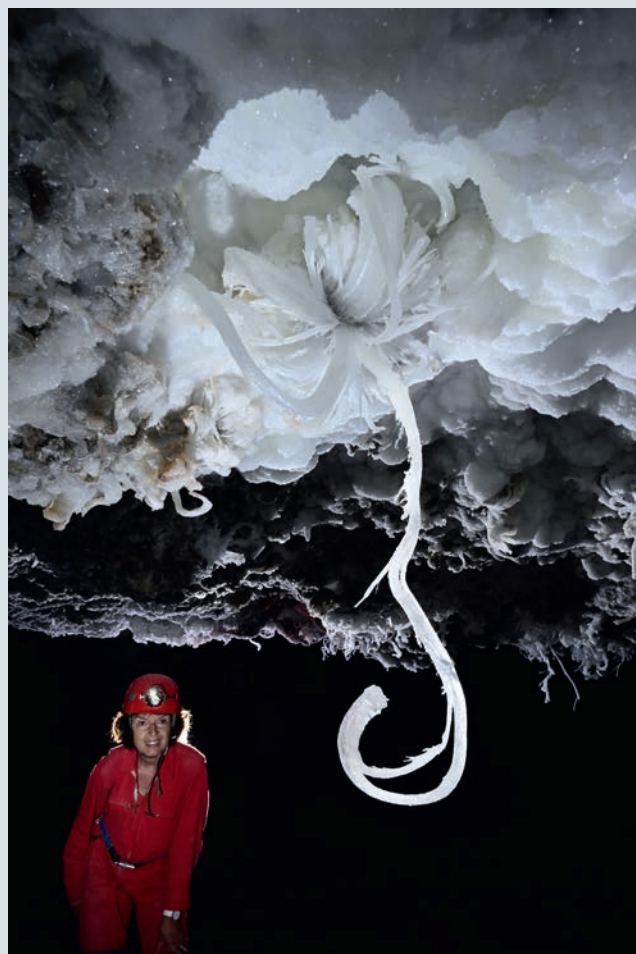


Jo De Waele devant les déchets qu'il a ramenés du fond des cavités explorées. Cliché Philippe Crochet

Festival de gypse

Clichés Philippe Crochet

Les photographies des quatre pages suivantes ont été prises à la grotte de Geophysicheskaya, à l'exception des deux du haut de la page 21 prises à Hashim-Oyuk. Geophysicheskaya est un paradis pour le photographe qui ne sait où donner de l'objectif: grandes salles immaculées pareilles à des paysages de neige, chandeliers aux griffes monumentales, fine chevelure d'aiguilles tapissant le sol... Et quand on se lasse du blanc, il y a aussi du rouge ou du jaune. La grotte d'Hashim-Oyuk est caractérisée par ses concrétions de gypse creuses qui peuvent être très surprenantes.









PERSPECTIVES

L'étude du karst et des grottes du Köýtendag au Turkménistan prendra sûrement encore plusieurs années. Un éventuel dépôt de dossier auprès de l'UNESCO pour classer ce massif nécessitera des études complémentaires en karstologie et biospéléologie ainsi qu'une documentation plus approfondie des cavités en incluant les zones transfrontalières protégées côté ouzbèke.

Les perspectives pour les prochaines expéditions seraient ainsi les suivantes :

- Reconnaître en altitude diverses zones du massif du Köýtendag, pour rechercher de nouvelles cavités et comprendre la géologie et l'hydrogéologie de ce secteur. Les canyons peuvent également recouper des réseaux majeurs, mais leur exploration peut s'avérer longue et difficile. Toutefois, sur plusieurs années, il est possible d'envisager une exploration méthodique du fond et des parois de ces innombrables canyons (plus de 200), s'étageant sur plus de 2500 m de dénivelé.

- Poursuivre les études de biospéléologie effectuées en 2023 et 2024 en les étendant aux zones de plus haute altitude. En effet, la température y étant sensiblement plus fraîche, la faune pourrait y être très différente. Il a en effet été constaté une nette différence entre la faune des anciennes mines situées vers 1200 m d'altitude et celle des cavités situées entre 600 et 800 m d'altitude, sans pouvoir trancher entre influence de l'altitude ou du contexte géologique. Seule la poursuite de ces études biospéléologiques pourra apporter des éléments de réponse.

- Poursuivre le travail de topographie des cavités existantes, même mineures, qui n'ont pas pu être explorées en 2024, afin d'obtenir un recensement exhaustif des grottes du Köýtendag. Ces données topographiques seraient stockées dans une base de données et mises à disposition dans un format ouvert.

- Poursuivre les études commencées en 2024 sur les traces laissées dans les grottes par les grands mammifères.

- Organiser des plongées souterraines dans les dépressions constituant des regards sur la zone noyée du karst afin de comprendre l'organisation et le fonctionnement de l'aquifère du gypse du Köýtendag. Une reconnaissance en spéléo-plongée est envisageable d'un point de vue technique.

- L'espoir de trouver des gouffres profonds passe par la possibilité de monter un camp sur le plateau à 2400 m d'altitude et également de parcourir la crête au-dessus des falaises ouzbèkes. Ceci ne présente pas de problèmes techniques mais nécessite des autorisations spécifiques. Par ailleurs, l'aide des populations locales (et des gardes pour la partie militaire) pourrait augmenter les chances de trouver de nouvelles cavités. Il faut noter que le Köýtendag est un massif similaire à ceux situés plus au nord-est en Ouzbékistan (Hodja Gur Gur Ata et Chul Bair). Là, les entrées des cavités sont en falaise sous la crête sommitale. Les grottes de Vichnechsky et Dark Star atteignent respectivement des profondeurs de -1131 m, et -939 m, et se développent parallèlement aux canyons, mais aussi bien en dessous.

- Envisager une expédition spéléologique et scientifique au pied des falaises du Köýtendag côté ouzbèke pour étudier ce massif remarquable dans son ensemble.

Grâce à l'importance accordée aux études scientifiques et à la documentation, l'expédition 2024 aura été essentielle pour exhumer des richesses patrimoniales exceptionnelles du Turkménistan qui tombaient dans l'oubli. Les résultats obtenus justifient pleinement de continuer les axes de recherche initiés. En attendant, la priorité devra être donnée à la protection des cavités, ce qui est cohérent avec le projet d'inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO envisagé.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement :

- son Excellence Monsieur Maksat Chariev, ambassadeur du Turkménistan en France, pour tout le soutien qu'il a apporté aux expéditions spéléologiques 2023 et 2024 ;
- le ministère des Affaires étrangères (avec un visa gratuit) et le ministère de la protection de l'Environnement du Turkménistan, pour l'accord donné à la tenue de nos expéditions ;
- Monsieur Philippe Merlin, ambassadeur de France au Turkménistan, pour tout le soutien qu'il a apporté aux expéditions spéléologiques dès sa prise de poste en mai 2023 ;
- Monsieur Romain Gouvernet, directeur de l'Institut français du Turkménistan, pour nous avoir accueillis dans ses locaux et permis de faire une première restitution de notre expédition à la fin de celle-ci à Achgabat ;
- Monsieur Shaniyaz Menliev, chef du département scientifique de la réserve du Köýtendag qui nous a accompagnés et guidés dans toutes les grottes et tous les canyons du Köýtendag ;
- Monsieur Saparklych Rahmanov, directeur de l'agence Owadan Tourism, ainsi que Madame Dilara Geldiyeva, directrice commerciale, pour leur disponibilité et leur implication constantes dans l'aboutissement du projet.

Bibliographie succincte

- Birstein, J. A. ; Ljovuschkin, S. I. (1964)** : Faune des eaux souterraines saumâtres de l'Asie centrale. - *International Journal of Speleology*, 1, p.307-320. <https://digitalcommons.usf.edu/ijs/vol1/iss3/5>
- Georgiev, K. ; Menliev, S. ; Linnell, J. (2019)** : Mammals. - In : *A report of RSPB-supported scientific research at Köýtendag State Nature Reserve, East Turkmenistan*, compiled by Welch, G., edited by Welch, G. and Stoev, P., p.102-110.
- Maltsev, V. A. (1997)** : Cupp-Coutunn Cave, Turkmenistan. - In : Hill, C. A. & Forti, P. (Eds.): *Cave minerals of the world* (2nd. ed.), p.323-328. National Speleological Society, Huntsville.
- Maltsev, V. A. ; Self, C. A. (1992)** : Cupp-Coutunn cave system, Turkmenistan, Central Asia. - *Proceedings of Bristol University speleological society*, 19, 2, p.117-150. https://www.ubss.org.uk/resources/proceedings/vol19/UBSS_Proc_19_2_117-149.pdf
- Maltsev, V. A. ; Korshunov, V. (1998)** : Geochemistry of Fluorite and Related Features of the Kugitangtou Ridge Caves, Turkmenistan. - *Journal of Cave and Karst Studies*, 60, 3, p.151-155. https://caves.org/wp-content/uploads/Publications/JCKS/v60/cave_60-03-fullr.pdf
- Vivier-Muresan, Anne-Sophie (2007)** : Sanctuaires et sainteté chez les zoroastriens d'Iran. - *Revue de l'Histoire des religions*, 4, p.435-460. <https://doi.org/10.4000/rhr.5371>
- Welch, G. ; Stoev, P. (Eds.) (2019)** : A report of RSPB-supported scientific research at Koytendag State Nature Reserve, East Turkmenistan. - *Pensoft Publishers*, Sofia, 117 p. <https://doi.org/10.3897/ab.e37858>

Speleogenesis of Gap-Gotan (Cupp-Coutunn) cave system, Köýtendag massif, Turkmenistan

Philippe Audra (1), Gaël Cazes (2), Xavier Robert (3), Lionel Barriquand (4), Yuri Dublyansky (5), Gabriella Koltai (5), Marjan Temovski (6,7), Victor Polyak (8), Cristina Carbone (9), Vasile Heresanu (10), Jean-Pierre Gruat (11), Jo De Waele (12)

(1) Polytech'Lab UPR 7498, University Cote d'Azur, Nice, France, Philippe.AUDRA@univ-cotedazur.fr (corresponding author)

(2) Geosciences Montpellier, UMR5243, Université de Montpellier, France, gael.cazes@umontpellier.fr

(3) Institut des Sciences de la Terre (ISTerre), University Grenoble Alpes, University Savoie Mont Blanc, CNRS, IRD, IFSTTAR, Grenoble, France, xavier.robert@univ-grenoble-alpes.fr

(4) University Savoie Mont Blanc, EDYTEM, UMR 5204, Le Bourget-du-Lac, France, lionel.barriquand@univ-smb.fr

(5) Institute of Geology, University of Innsbruck, Austria, yuri.dublyansky@uibk.ac.at, gabriella.koltai@uibk.ac.at

(10) HUN-REN Institute for Nuclear Research (ATOMKI), Debrecen, Hungary, temovski.marjan@atomki.hu

(11) Department of Mineralogy and Geology, University of Debrecen, Hungary

(8) Department of Earth and Planetary Sciences, University of New Mexico, Albuquerque, USA, polyak@unm.edu

(9) Department of Earth, Environmental and Life Sciences (DISTAV), Genoa University, Italy, cristina.carbone@unige.it

(10) Interdisciplinary Nanoscience Centre of Marseille (CINaM), CNRS – Aix Marseille University, France, vasile.heresanu@cnrs.fr

(11) Alpina Millau, France, bouysse67@yahoo.fr

(12) University of Bologna, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, Bologna, Italy, jo.dewaele@unibo.it

Abstract

The Gap-Gotan (Cupp-Coutunn) system (Turkmenistan) is known for its mineralogical wealth, thanks to the considerable work carried out by Vladimir Maltsev in the 80s. However, following fieldwork carried out in 2024, Maltsev's speleogenetic hypotheses have been revised, in terms of stages, chronology and processes. Several phases of speleogenesis can be identified. 1) Hydrothermal mineralizing fluids, leading to Pb-Zn deposits in the vicinity, and impregnation of the host rock with sulfides, fluorite, and calcite veins. 2) The formation of large horizontal phreatic conduits at shallow depth, fed by infiltration at high altitude, with dissolution produced by flows reacting with the sulfides in the host rock. This process has been repeated in stages as the base level fell, until the present day. Nowadays similar active phreatic conduits are presumed to exist beneath the gypsum collapses. 3) Once drained, the caves are decorated with gypsum speleothems mainly formed by sulfate-rich seepage from the surface (e.g., chandeliers), and filled with fluvial sediments injected locally from canyon sinkholes. Mapping, isotopic and mineralogical analyses, and U-series and U-Pb dating of the sediments are providing preliminary evidence for this model of speleogenesis in these unique and exceptional caves.

1. Introduction

The Köýtendag (or Kugitangtau) massif (Köýtendag meaning “mountain of canyons” in Tajik language) is the final western part of the larger Pamir-Alaï mountain range, located in the extreme southeast of Turkmenistan, forming the border with Uzbekistan. To the south the massif is bounded by the Amu Darya, a river that forms the border with Afghanistan, flowing at an altitude of around 260 m asl. To the west the massif is bounded by the Köýtendarya (a small tributary of the Amu Darya), fed by the numerous springs (often located in canyons) that dot the foot of the mountains. From the river, the plain rises slowly eastward reaching 350 m at the foot of the slope, then rising steadily culminating at the highest summit (Mt. Airibaba, 3138 m asl). On the Turkmenistan side, the western slopes of the Köýtendag are carved by over 100-m-deep (the deepest one reach 700 m!) and often dry meandering canyons, disrupting the longitudinal continuity of the slope. The climate is arid, with mean annual air temperatures in the plain between 5 and 30°C (down to -20°C in winter and up to 49°C during summer), and annual precipitation of ca. 120 mm in Köýtendag village, generally during winter and falling as snow at higher altitudes.

The massif is made of Upper Jurassic limestones (Callovian-Oxfordian) of the Kugitang Formation, reaching a thickness of over 400 m and characterized by reef limestones, grading upwards into more marly limestones and finally dolomitic limestones (Fig. 1).

Locally these limestones are slightly metamorphized and silicified, containing bituminous patches which may have contributed to the karstification (MALTSEV, 1997). The Kugitang limestones are covered in continuous sedimentation by 200 m of the Gowurdak (or Gaurduck) evaporites (gypsum) of Upper Jurassic (Kimmeridgian-Tithonian). These evaporites were spared from erosion on the lower slopes only. Adjacent to the massif in the footplains, the Garlyk mine exploits potash, and sulfur is extracted at Gowurdak (now called Magdanly). These evaporites are covered by green marls and red sandstones, forming superb ravine landscapes on the western slope of the Köyten valley. Finally, Neogene deposits fill the surrounding basins.

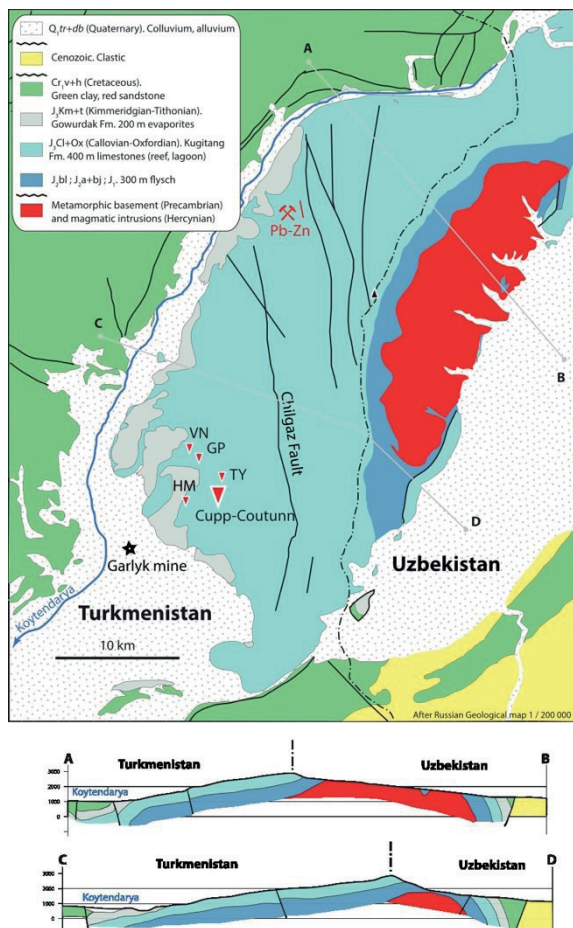


Figure 1: Geological sketch map and cross-sections of the Köytendag region (after Russian Geological map, scale 1:200,000). Red triangles indicate the caves: TY=Tush-Yurruk, HM=Hashim-Oyuk, GP=Geophysicalskaya, VN=Vertikalnaya.

2. Previous studies

Besides the importance of the mountainous landscape, the Köytendag massif is known for its marvelous caves, the most famous of which is Gap-Gotan (or Cupp-Coutunn Cave System, the junction of Gap-Gotan and Promeszutochnaya). This 56 km-long system, studied mainly by Vladimir Maltsev (1980-2000), is renowned for its minerals, with more than 30 identified species, some of which very rare, and for its extraordinary gypsum formations (chandeliers, hollow stalagmites, etc.), similar to those of Lechuguilla Cave in New Mexico (USA). Cupp-Coutunn Cave is listed as one of the most beautiful and interesting in the world (HILL & FORTI, 1997; MALTSEV, 1997). Besides Gap-Gotan, several other important underground systems were explored by Russians, including Hashim-Oyuk, Tush-Yurruk, Gulshirin (or Geophysicalskaya), and Vertikalnaya (Fig. 1). Based on his analysis, Maltsev identified 3 phases of

Köytendag is an asymmetrical anticlinal dome, with gentle dips (approx. 7°) on its western (Turkmen) side. It is cut by large N-S oriented faults, the biggest of which, the Chilghaz Fault, divides the plateau into two morphological “steps”. These N-S faults formed during the early phases of uplift. To the north, mines exploited Pb-Zn deposits in veins on one of these faults. Other secondary NW-SE and E-W faults play a role in organizing the cave systems located south (in the Gap-Gotan area). The massif was uplifted in several phases, from the beginning of the Tertiary (Paleocene) to the Middle Quaternary (MALTSEV & KORSHUNOV, 1998).

Surface karst morphologies are very scarcely developed on the limestones, given the arid climate, and the canyons appear to be related to past wetter climate. Underground karst development is active below the evaporites in the lowlands, as shown by large collapse sinkholes dotting the gypsum plains, testifying to important underground water flow fed by the mountains. This is not surprising, since the same limestones are the main reservoir rocks for the important gas and oil fields of Turkmenistan to the west, fed by the underlying marls (flysch) of Middle Jurassic (Bathonian-Bajocian) age. These marls are 300 m thick and interlayered with some volcanic strata. This sedimentary sequence overlies unconformably Precambrian metamorphic rocks composed of gneiss, and a large Hercynian granitic batholith [MALTSEV & SELF, 1992].

development. A first deep phreatic phase, of Upper Cretaceous age, forming the labyrinthic maze, followed by clogging of the conduits by clays. The second phase results from the uplift of the massif during the Plio-Quaternary during which thermal and sulfidic waters rose into the cave system, truncating and exposing the first phase of mineralization (fluorite, sulfides, etc.). The third and final phase, still active, sees a continuation of mountain uplift, exposing part of the conduits, which now evolve in dry conditions. This latest phase is characterized by the oxidation of sulfides generating sulfuric acid and the typical associated secondary mineralization (mainly sulfates). Maltsev recognized that the evolution of karst continues at depth in drowned and partially blocked conduits, as revealed by the large collapse sinkholes in the evaporites, and by the presence of sulfate-rich springs near the foot of the slope.

3. Methods

To fill the lack of precise topographic data, several caves (Hashim-Oyuk (5.4 km), Tush-Yurruk (3.6 km), Geophysicalskaya (3.9 km), and Vertikalnaya (0.55 km)) were completely re-surveyed during the French speleological expedition “Koytendag 2024” (AUDRA et al., 2024). In the large Cupp-Coutunn-Promeszutochnaya Cave System, we measured the main center- and polygon line between the different entrances, and of the main cave branches. This enabled us to orthorectify the Russian

survey of the 80-90s, and verify the altitudes of the different cave levels. Topographic data were processed with the Therion software (<https://therion.speleo.sk/>), allowing visualizations in 3D (<https://github.com/robertxa/Turkmenistan>).

A general geological and geomorphological mapping of the cave conduits and their mesomorphology, as well as more detailed surveys of significant sectors have been carried out with the objective of

associating the forms with different evolutionary phases of the caves (epigenic, hypogene, phreatic, hydrothermal, sulfuric, later condensation-corrosion, leaching of overlying evaporites), in order to specify the conditions specific to each phase.

Although mineralogy was largely performed by Maltsev in great detail, we have carried out mineralogical analyses (XRD, SEM) of the mineral associations sampled in most caves. Primary and secondary minerals can provide new information on their formation in relation to that of the caves and their environment.

Dating (U-series and U/Pb of gypsum and carbonate speleothems, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ of the by-products of sulfuric acid speleogenesis, etc.) will

make it possible to better constrain the age of the different cave-forming phases and to link these to tectonic and paleoclimatic events.

An evaluation of the groundwater flow, physical (temperature, conductivity), and chemical (dissolved ions and notably sulfates) characteristics aimed to provide a better understanding of the karst aquifer.

Stable isotopes of oxygen and carbon, coupled with dating, provide insights into the climatic (temperature and precipitation) and environmental (vegetation) evolution during carbonate speleothem deposition. Sulfur and oxygen stable isotopes, on the other hand, will allow to get a better idea of the provenance of the sulfur in the secondary sulfates, sulfides (galena, pyrite) and in the water.

4. Preliminary results

4.1. Cave surveys and morphology

The most important caves are located in the southwestern tip of the Köytendag range, in a military area, west of the major N-S Chilghaz Fault (Fig. 1). In this so-called “Lower Plateau” the upper beds of the Kugitang Fm. limestones crop out, covered with patches of the overlying gypsum rocks of the Upper Jurassic Gowurdak Fm. Most caves are cut by the deep canyons crossing this area, and do not appear to have a direct connection with the present-day surface morphology. Only Hashim-Oyuk opens up in the surface plateau in between canyons, as a collapse doline descending into a large labyrinthic network of galleries.

The new surveys show that the location of the cave conduits in the entire Cupp-Coutunn area is almost entirely controlled by the heterogeneities present in the rock mass (fractures, joints, bedding planes, petrographical changes with presence of more or less permeable beds), and by the position of the water table which controlled the altitude of the main underground drainage.

The Jurassic limestones of the Kugitang Fm. comprise thin beds at the top with thin marly intercalations, passing downward to thick beds separated by levels of green clay, some several cm thick. These lithological discontinuities played a major role in the location of the proto-conduits (Fig. 2). They also served as separation surfaces in later stages of cave development.



Figure 2: A typical lens-shaped cross-section in Geophysicalskaya, following a less resistant bedding plane surface. The cave walls are stained dark red because of the weathering residue known as “okher”, contrasting with the white calcite speleothems (Photo Philippe Crochet).

A significant part of the conduits follows the bedding planes with an average of 7° towards the SW (220-230°), in the direction of the dip, or obliquely to it.

On the other hand, many cave conduits develop horizontally, and record the altitudinal position of ancient base levels (i.e. water table) at the time of their formation (AUDRA & PALMER, 2015). Six main levels (or stages) have been identified in the study area (Fig. 3). Four of these levels are widely represented at current altitudes of 880, 800, 600, and 500 m, whereas two secondary levels were detected at 850 and 750 m (Fig. 3).

4.2. Speleothems and minerals

The caves around Cupp-Coutunn are known for their beautiful gypsum speleothem decorations and for their mineralogical variety (MALTSEV, 1997). Among common cave minerals, occurring in various typical forms, such as the carbonates aragonite, calcite, hydromagnesite, huntite and the rare (for caves) dolomite, siderite, cerussite and ankerite, and the sulfates including gypsum, celestite, barite, jarosite, epsomite, and thenardite, sometimes accompanied by native sulfur, of special interest are the silicates chrysotile, lizardite, and the very rare fraipontite and sauconite. Also, violet fluorite occurs in several caves and points to a thermal origin, as shown by fluid inclusion studies (MALTSEV & SELF, 1992; MALTSEV & KORSHUNOV, 1998). This fluorite is probably contemporary with corroded and old thermal calcite spar that has been found in many caves of the area and appears to predate the main cave enlargement phase. In some caves the yellow radioactive mineral tyuyamunite has been found.

4.3. Sulfur isotopes

We analyzed the sulfur isotopic composition ($\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$) of the Upper Jurassic Gowurdak gypsum rocks outcropping above the caves, of the sulfates in the waters at several springs (among which the main Gaynar Baba springs considered to be the main outlet of the active karst system), and of gypsum crusts, chandeliers and needles sampled in different caves. The mean isotope values for the Jurassic gypsum rocks were +15.7 ‰ (relative to VCDT) and +6.7 ‰ (relative to VSMOW) for $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ respectively, not very different from that of the secondary gypsum speleothems in the caves (+13.9 ‰ and +8.3 ‰, respectively), the two celestine samples (+15.3 ‰ and +9.7 ‰, respectively) and the sulfidic waters at the springs (13.0 ‰ and 8.0 ‰, respectively). Galena sampled in an abandoned mine gave a $\delta^{34}\text{S}$ value of +4.3 ‰.

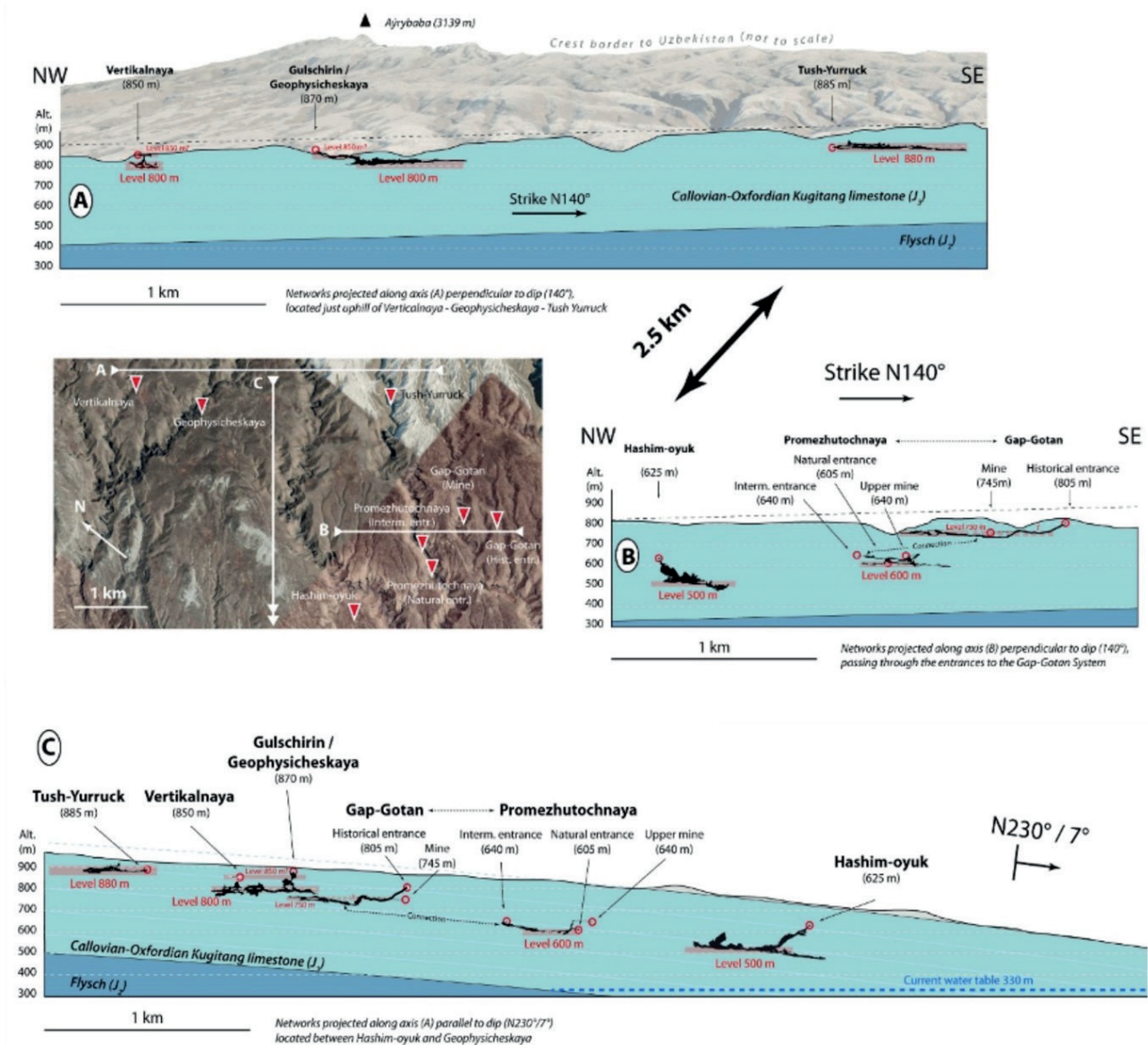


Figure 3: The stepped levels of the Köýtendag caves. A-B) Caves projected along a dip-perpendicular profile. C) Caves projected along a dip-parallel profile. Location of profiles is shown on satellite image (not oriented to the N!)

5. Discussion

The caves in the southern part of Köýtendag massif are remnants of an ancient karst system, now dissected by the canyons that characterize the western slopes of the mountain range. The caves appear to be carved in a phreatic regime in a low hydraulic gradient setting, and the fluids that carved the often large and low elliptical passages exploited weaknesses in the rock (Fig. 2), following mainly bedding planes dipping 7° towards the SW (220-230°N) or along strike, and some subvertical faults. The fact that part of these earlier phreatic conduits are following dip might indicate they formed prior to mountain uplift and tilting. Alongside these bedding-plane-guided conduits, there are also a set of close-to-horizontal cave levels, carved at or close to the water table and not determined by less permeable levels. These levels are sometimes connected by "soutirages", more vertical and small sections of cave carved in a vadose regime (HÄUSELMANN et al., 2003). Good examples of these can be seen in the Cupp-Coutunn-Promeshutochnaya Cave System, connecting cave levels from 805 m asl to 605 m asl.

As already mentioned by MALTSEV & SELF (1992), the caves appear

to have formed in a phreatic regime. Our observations show that these caves cut thermal fluorite and calcite veins, which are clearly dissolved and corroded after their emplacement. We believe this hydrothermal stage to be prior to the main speleogenetic stage during which the main cave passages were carved. The age of the hydrothermal episode, and the following most important cave-forming stage is to be determined, but might even be Middle Cretaceous, and is possibly older than the age of the mountain uplift and the formation of the deep canyons, which is believed to have occurred since the Miocene. Our dating attempts will hopefully solve this question.

During or after the Köýtendag uplift, the hydraulic gradient increased and the caves were reactivated. Canyon downcutting appears to have occurred in phases, causing the water table to remain repeatedly stable over long periods of time, thus allowing the development of the four main cave levels (and additional two sublevels). Some of the caves were eventually cut by the canyons, opening up to the surface along the canyon walls.

Today the water table is well below the caves. Occasional flooding occurs in some cave passages closer to the canyon walls, as flood sediments indicate. The extreme thermal excursion (day-night, summer-winter) causes important seasonal (or even diurnal) condensation to occur in areas close to cave entrances or the exterior, and along main air currents, whereas the high internal temperatures cause evaporation of these condensation waters. This explains the widespread occurrence

of condensation-corrosion morphologies, the deeply weathered rock walls (with reddish-orange residue called “okher”), and the massive precipitation of gypsum under different speleothem forms and crusts (Fig. 4). Most of this gypsum derives from seepage from the above lying Gowardak evaporites, as stable S and O isotopes indicate, and is not related to a sulfuric acid speleogenesis (as in Lechuguilla).



Figure 4: Large gypsum chandeliers and hollow gypsum stalagmites, Geophysikalskaya (Photo by Philippe Crochet).

Conclusion

During the French speleological expedition “Köýtendag 2024” many geological and geomorphological observations were made, and complete surveys were produced for several caves, whereas the large Cupp-Coutunn-Promeszuotchnaya Cave System was partially resurveyed between entrances and along the main passages. These speleological and scientific activities aim to understand the genesis and evolution of these remarkable caves. Our preliminary investigations already led to the following observations: 1) we believe the fluorite and thermal calcite point to a hydrothermal diffuse event (most probably several phases) which occurred before the main cave formation; 2) the first cave network developed in a phreatic regime at low hydraulic gradient; 3) mountain

uplift caused an increase in hydraulic gradient, and the formation of several horizontal cave levels; 4) all caves are now well-connected to the surface and characterized by extensive condensation-corrosion phenomena; 5) the large gypsum decorations are due to evaporation processes and mostly derive from the overlying Gowurdak evaporites and slow infiltrating waters, and are not related to a sulfuric acid speleogenesis.

Finally, an extensive part of time was dedicated to the documentation of these caves through photographs and 3D photogrammetry. Our work will hopefully help the Turkmen and Uzbek authorities to obtain the inscription of this area in the UNESCO World Heritage List.

Acknowledgements

The expedition has been made possible thanks to the help of his Excellency Maksat Chariev, Ambassador of Turkmenistan in France, the Ministry of Foreign Affairs and the Ministry of Environmental Protection of Turkmenistan, Ms. Chynar Rustemova, Executive Secretary of the Turkmen National Commission for UNESCO, Mr. Jumamyrat Saparmuradov, CEPF/CLLC Project Manager, Turkmenistan, Mr. Philippe Merlin,

French Ambassador in Turkmenistan, Mr. Romain Gouvernet, Director of the French Institute of Turkmenistan, Mr. Shaniyaz Menliev, Head of the Scientific Department of the Koytendag Reserve, Mr. Saparklych Rahmanov, Director of Owadan Tourism, and Mrs. Dilara Geldiyeva, Sales Manager of Owadan Tourism.

6. References

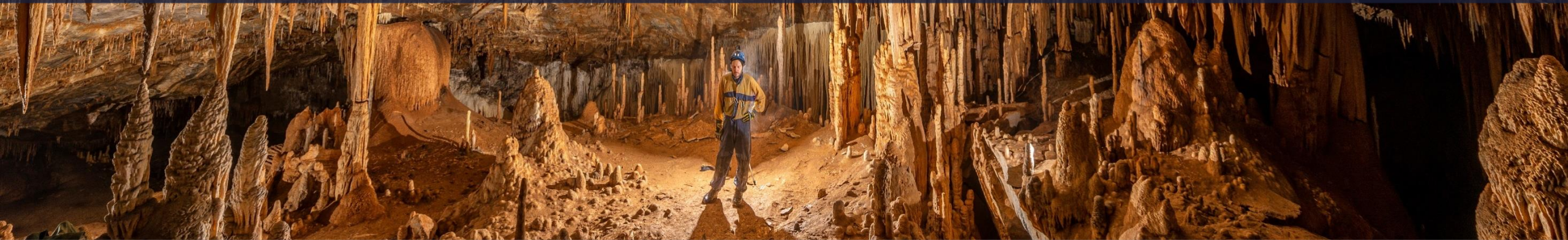
- AUDRA P., PALMER A.N. (2015) Research frontiers in speleogenesis. Dominant processes, hydrogeological conditions and resulting cave patterns. *Acta Carsologica* 44(3): 315-348.
- AUDRA P., BARRIQUAND L., BRIFFON J.-M., CAZES G., CROCHET P., FALGAYRAC C., GRANDCOLAS J.-P., GREGO J., GRUAT J.-P., GUIRAUD A., HÉREIL J.-P., LIPS B., LIPS J., POGGIA F., PONT A., ROBERT X., DE WAELE J. (2024) Expédition Köýtendag 2024 Turkménistan. *Spelunca* 175:3-24.
- HÄUSELMANN P., JEANNIN P.-Y., MONBARON M. (2003) Role of epiphreatic flow and soutirages in conduit morphogenesis: the Bärenschacht example (BE, Switzerland). *Zeitschrift für Geomorphologie* 47(2): 171-190.
- HILL C.A., FORTI P. (1997) *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, Huntsville.
- MALTSEV V. (1997) Cupp-Coutunn Cave, Turkmenistan. In: HILL C.A. & FORTI P. (Eds.), *Cave minerals of the world* (2nd. ed.), 323-328. National Speleological Society, Huntsville.
- MALTSEV V.A., SELF C.A. (1992) Cupp-Coutunn cave system, Turkmenistan, Central Asia. *Proceedings of Bristol University Speleological Society*, 19(2):117-150.
- MALTSEV V.A., KORSHUNOV V. (1998) Geochemistry of fluorite and related features of the Kugitangtou Ridge Caves, Turkmenistan. *Journal of Cave and Karst Studies* 60(3):151-155.



Documenting caves in Turkmenistan

Annie GUIRAUD & Philippe CROCHET

July 25 2025



Documenting caves in Turkmenistan

Genesis of the project

- 2019 during an expedition to Uzbekistan, the huge limestone cliffs of the Koytendag massif at the border with Turkmenistan are spotted (1200 m high, 50 km long) by a french expedition
- The Cupp Coutun cave system was studied in the 1980's by russian geologist Vladimir Maltsev. No other studies or explorations have been carried out since then.
- A project of expedition was born in 2020
- The Covid pandemic occurred
- Long administrative procedures: an invitation letter from the Turkmen state is needed.
- The Koytendag massif is a nature reserve and a military zone : many permits are required

Documenting caves in Turkmenistan

Location



- A central Asian country
- Independent since 1991 (former USSR)
- Capital city : Ashgabat

Documenting caves in Turkmenistan

2023 : reconnaissance expedition



Jean-Pierre Gruat
Jean-Marie Briffon
Claire Falgayrac
Philippe Crochet
Annie Guiraud
Bernard Lips
Josiane Lips
Véronique Olivier
Philippe Auriol
Jean-Philippe Grandcolas

Documenting caves in Turkmenistan

2024 : second expedition with a multidisciplinary team



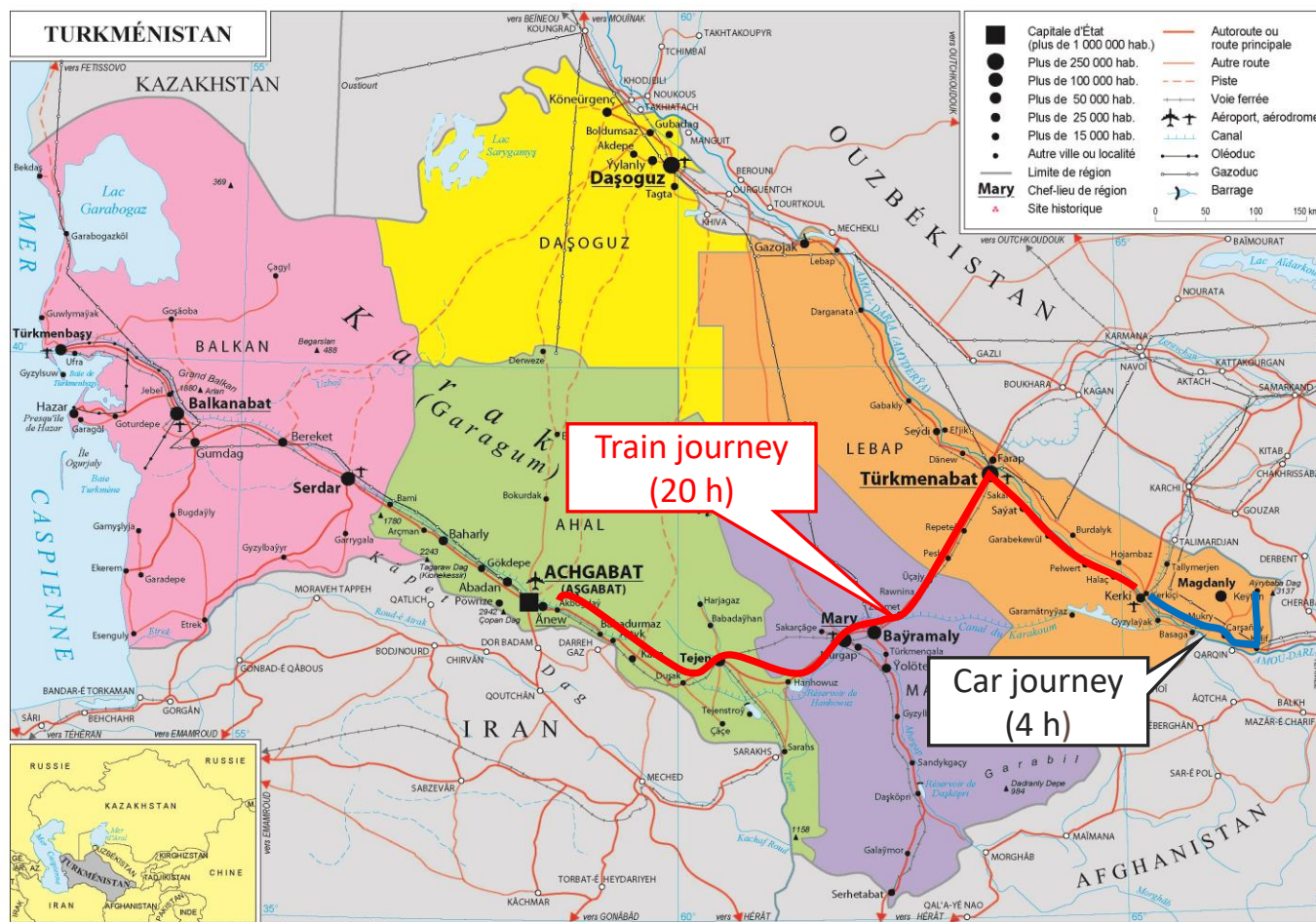
Jean-Pierre Gruat
Jean-Marie Briffon
Claire Falgayrac
Philippe Crochet
Annie Guiraud
Lionel Barriquand
Philippe Audra
Jo de Waele
Jean-Paul Hereil
Alexandre Pont
Jean-Philippe Grandcolas
Bernard Lips
Josiane Lips
Gaël Cazes
Josef Grego
Fredo Poggia
Xavier Robert

Location

Journey to the Koytendag region



19th INTERNATIONAL
CONGRESS OF SPELEOLOGY
38^o CONGRESSO BRASILEIRO
DE ESPELEOLOGIA



Mt Ayrybaba
3139 m

caves

Multi disciplinary expedition with specialists

- **Karstology team :**
Philippe AUDRA & Jo de WAELE
- **Biospeleology team :**
Josef GREGO, Josiane LIPS, Bernard LIPS & Lionel BARRIQUAND
- **Survey team :**
Jean-Paul HEREIL, Alexandre PONT, Jean-Pierre GRUAT, Jean-Philippe GRANDCOLAS, Jean-Marie BRIFFON, Xavier ROBERT
- **Photogrammetry :**
Gaël CAZES
- **Photography :**
Philippe CROCHET & Annie GUIRAUD

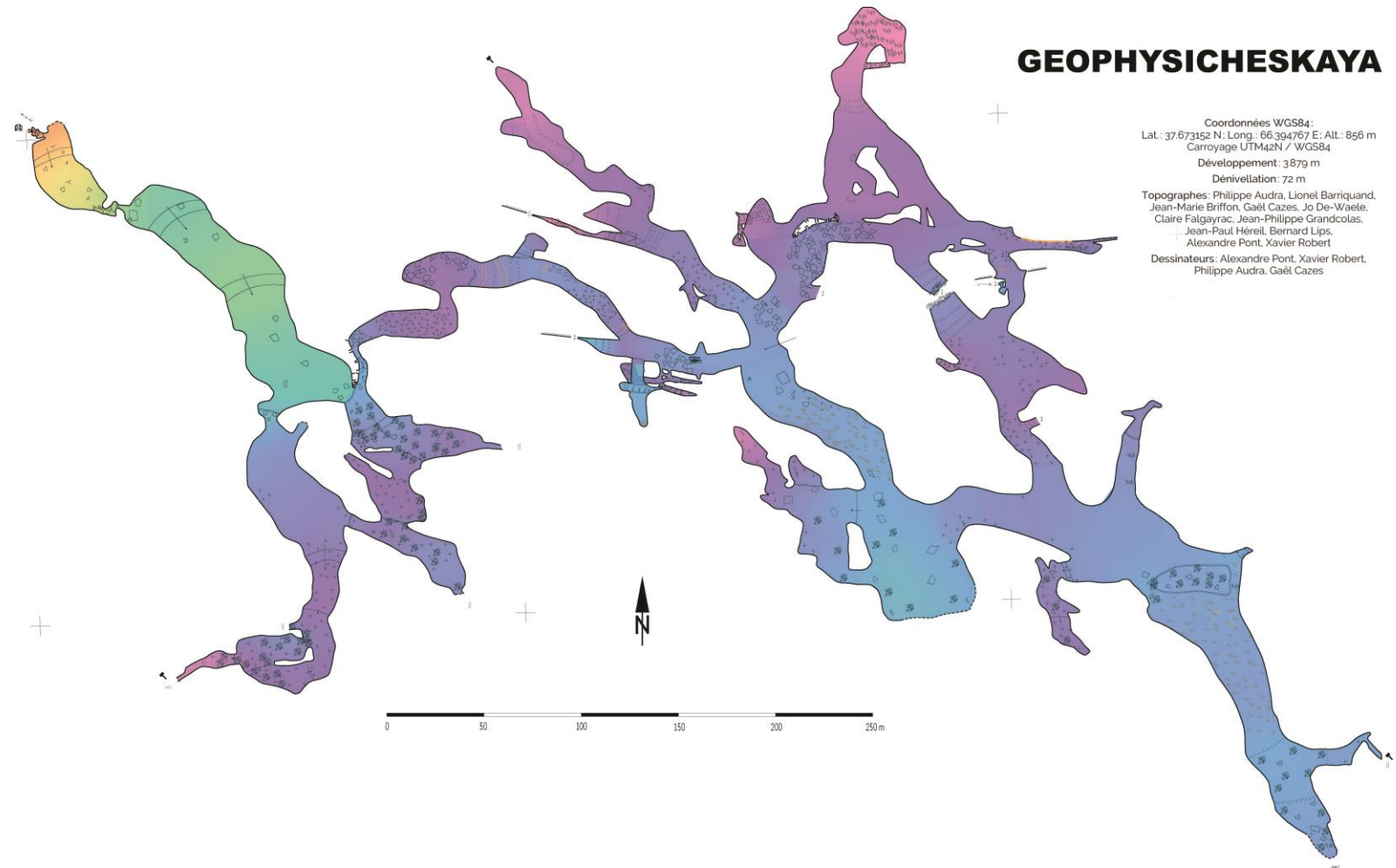


Twelve caves mapped again with new techniques



19th INTERNATIONAL
CONGRESS OF SPELEOLOGY
38^o CONGRESSO BRASILEIRO
DE ESPELEOLOGIA

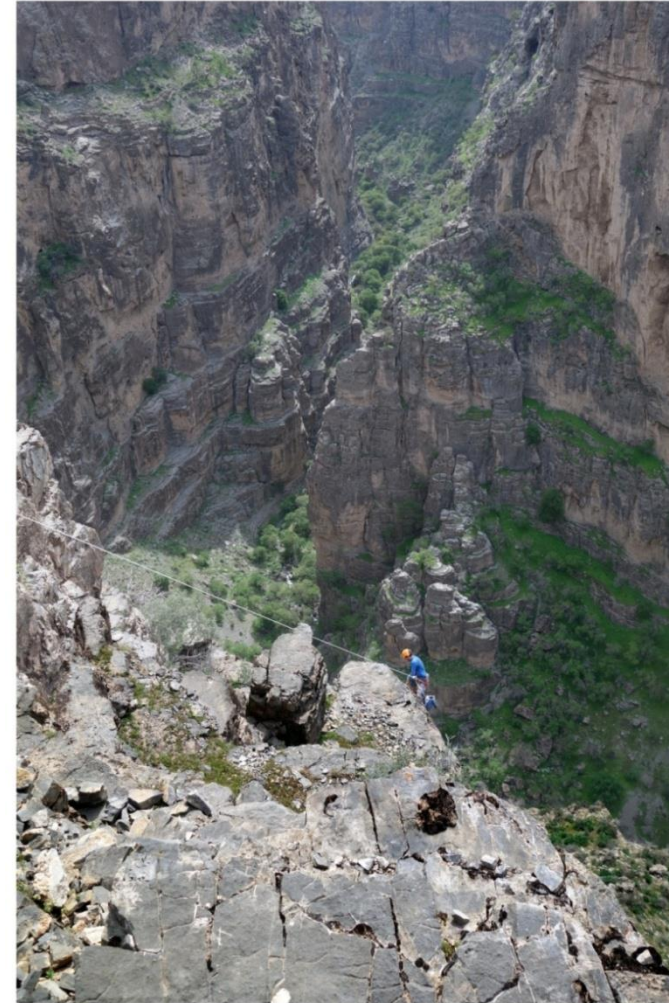
- Up to 5 survey teams every day
- 12 caves visited
- 19 km surveyed
- 8571 survey stations
- Maximum depth : -157m



Looking for new caves

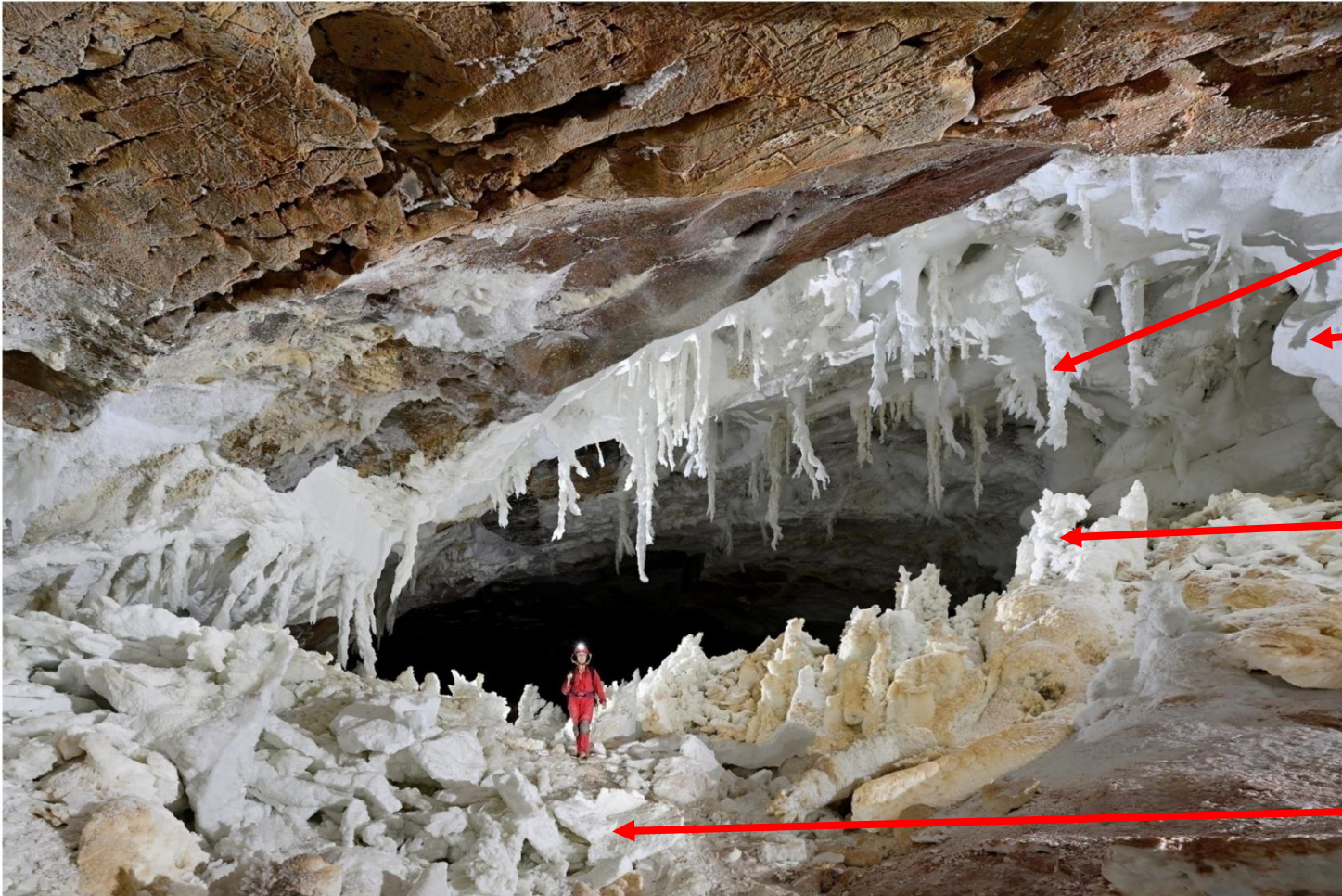
One of the main objectives, but difficult for two reasons :

- The slopes are cut by many deep canyons (300 m to 700 m)
- No permits to access the border zone



Main interest : gypsum caves with specific formations

Gypsum = calcium sulfate ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



Chandeliers

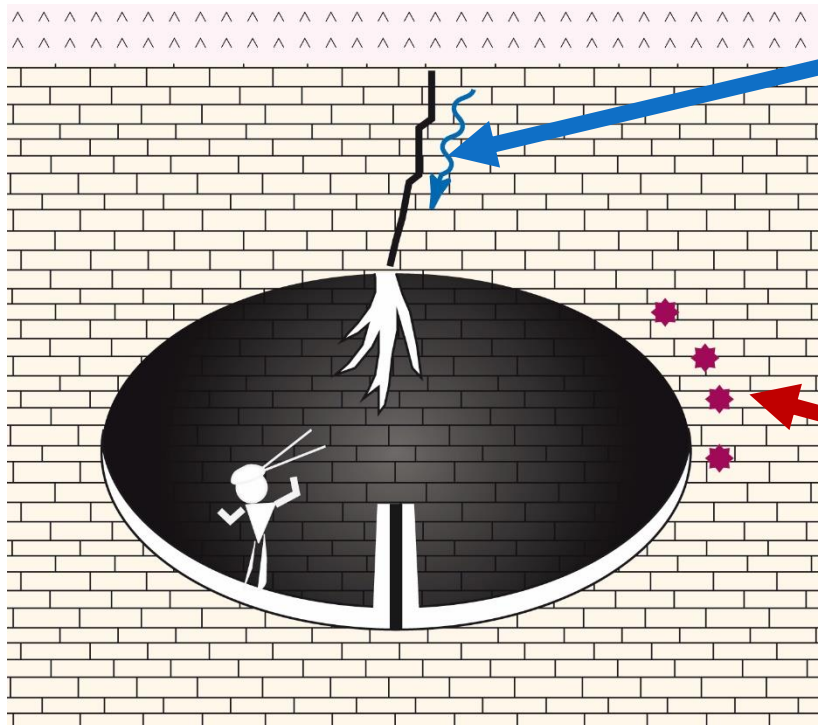
Crusts

Hollow stalagmites

Collapsed crusts

How gypsum formations develop in these caves

Dry conditions (50 % humidity)



1st origin of the sulfates

- Gypsum on the surface
- Infiltration through cracks
- Crystallization in the cave

2nd origin of the sulfates

- Sulfures in the rock (= pyrite, H_2S)
- Oxydation
 - ⇒ Sulfuric acid !
 - ⇒ Substitutes for limestone → gypsum

➤ **Exceptional !**

➤ **Research under way(Philippe Audra)**

Photographic documentation of the caves



An important part of the expedition

- It was put forward to get permits from the local authorities: a way to highlight the richness of their heritage
- A challenge:
 - these caves had little photo documentation : Maltsev's black and white photos dating back from the 80's.
 - a few photos by Swiss cave photographer Remy Wenger made in the 90's
- A photo trip every day (for 13 days)
- An average of 12 shots a day.
- Help everyday by one or several members of the expedition
(Claire FALGAYRAC Alexandre PONT Jean-Pierre GRUAT Fredo POGGIA Jean-Marie BRIFFON)

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Entrance in a sinkhole

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Suffered from a lot of damage
from onyx and gypsum mining

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

- Large passages
- Ceilings covered with gypsum crusts

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Gypsum slabs on the ground
collapsed from the ceiling

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Massive columns (all hollow)

Originally stalagmites that grew into columns

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Gypsum crystals develop on the columns

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

Hollow formations lit up
when a light is placed inside

Photographic documentation



Hushm – Oyeek

“The Prison”:
an incredible five-meter-deep,
two-meter-wide hollow gypsum
formation

Photographic documentation

Geophysicheskaya

8 days were devoted to document this exceptional cave.



Photographic documentation



Geophysicheskaya

This exceptional cave remained practically untouched thanks to its late discovery (1986)

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The big red chamber

Comfortable conditions for the
photos sessions.

Temperature of about 21 ° C
(69°F)

Photographic documentation



Photographic documentation



Geophysicheskaya

The red passages

The red color could be due to the oxidation of pyrites

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The red passages

Gypsum streaks on the ceiling

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The red passages

Gypsum streaks on the walls

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Red passage with yellow clay on
the underground

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The White passage

Gypsum covers the whole passage

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The White passage

Muffled sounds due to the thick layer of gypsum

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The White chamber

No tracks left on the ground
(dry atmosphere, no mud)

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Yellow aragonite formations
and gypsum chandeliers

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Backlight is necessary to enhance the translucence of the chandeliers.

Photographic documentation



Geophysicheskaya

No direct light, we play on reflection with back-lights

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Some large chandeliers seem similar to those in Lechuguilla

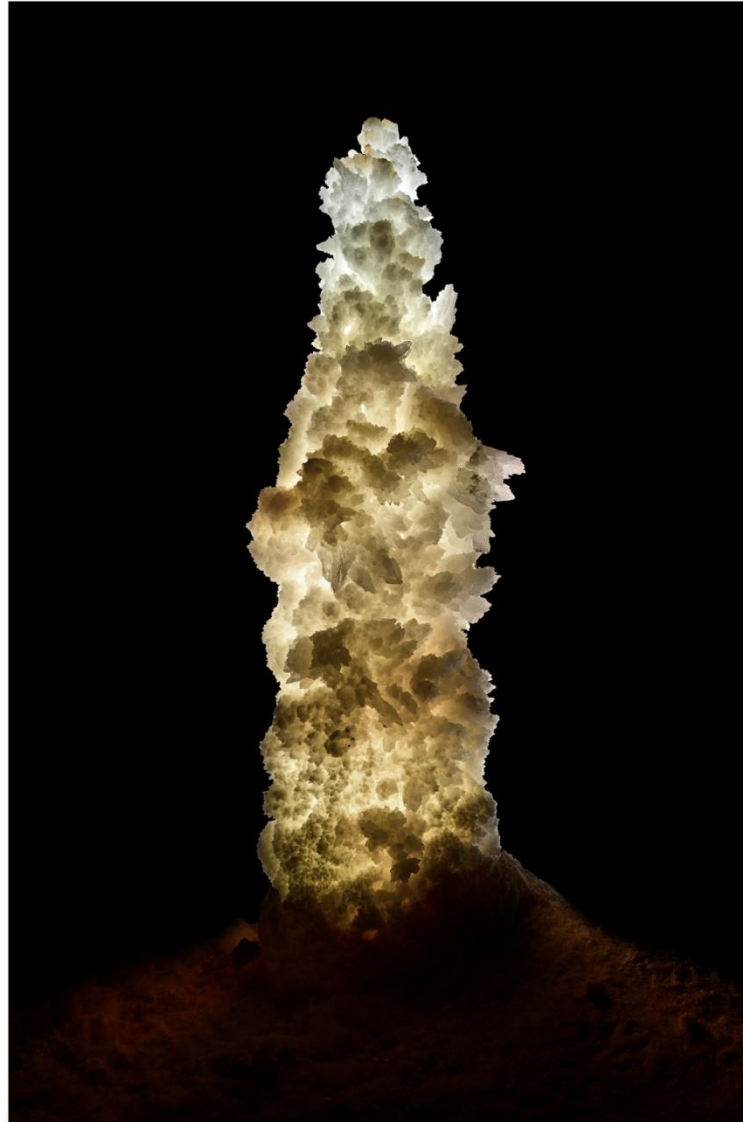
Photographic documentation



Geophysicheskaya

Big stalagmite look like fir trees covered in snow

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Strange gypsum formations

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Thousands of gypsum needles cover the floor of a chamber.

Photographic documentation

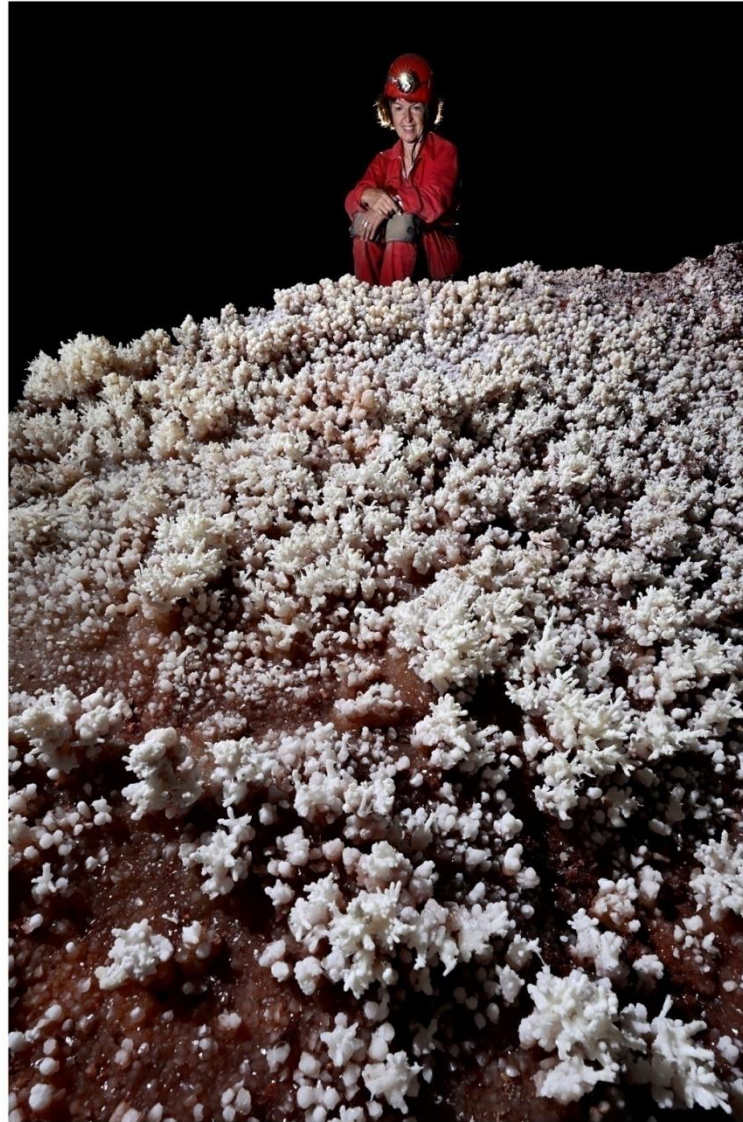


Geophysicheskaya

Gypsum needles nests



Photographic documentation



Geophysicheskaya

Many aragonite formations on the rocks

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Yellow colored aragonite
formations

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The formations have remained undamaged despite the absence of marked trail.

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Many aragonite bushes.

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Great contrasting colors

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Many original aragonite formations.

Photographic documentation



Geophysicheskaya

Original aragonite bunch on the ceiling

Photographic documentation



Geophysicheskaya

The Grey passage

Natural colors, no Photoshop!

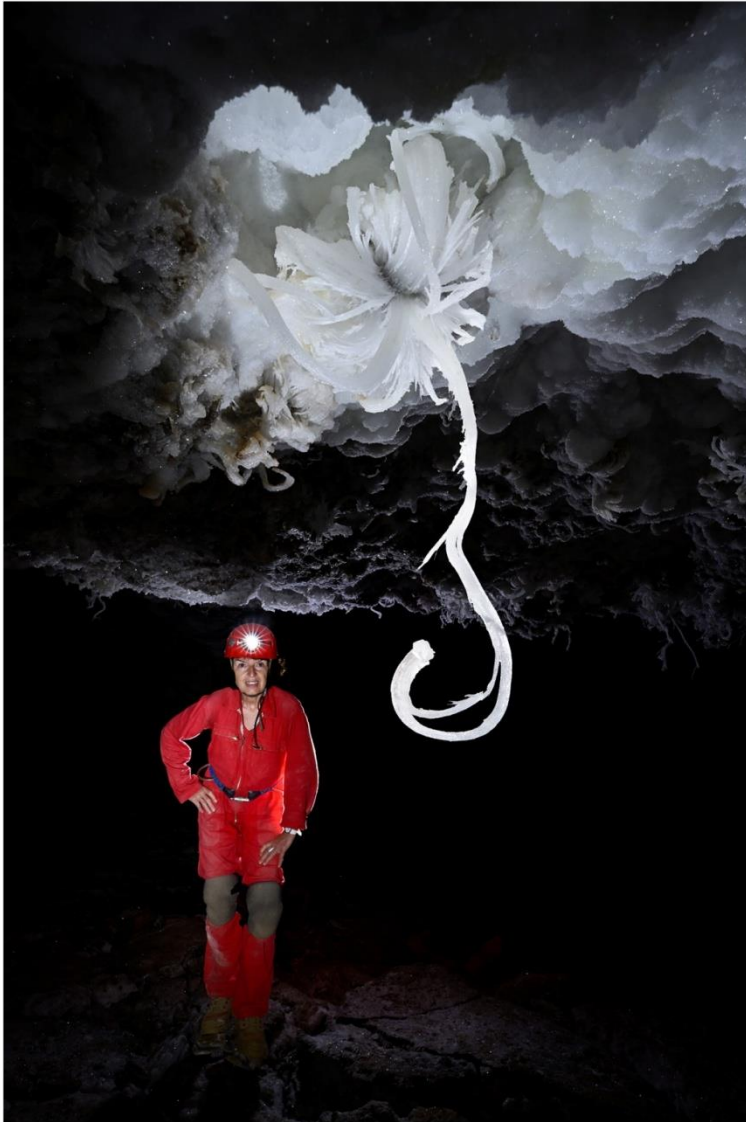
Photographic documentation



Geophysicheskaya

Many gypsum flowers.

Photographic documentation



Geophysicheskaya

A 30 cm long gypsum flower.

Photographic documentation



Documenting caves in Turkmenistan

How the photos were used

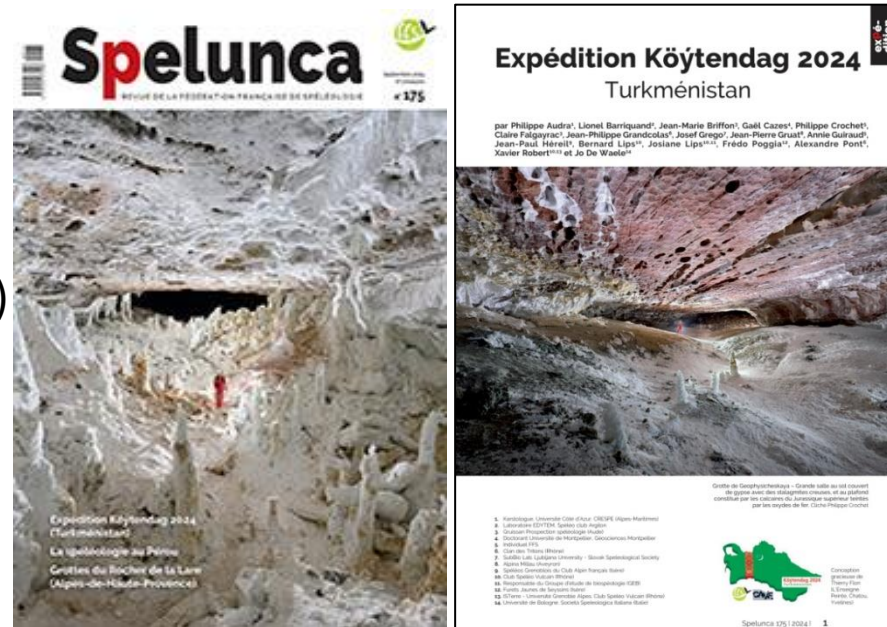
- All the photos were donated to the Turkmen authorities.
They will be used to support an application for a UNESCO classification
- They were used for the promotion of the expedition and helped to get permits for future expeditions
- An exhibition of 60 photos was held at the French Institute of Ashgabad for 2 months
- A 90-page brochure was published (in French and English)
- Short slide show (« Beyond dreams, reality »)



Documenting caves in Turkmenistan

Publications in magazines

- Spelunca n°175 (septembre 2024)
- NSS News
- Speleologia n°90
- French magazine Terre Sauvage



Documenting caves in Turkmenistan

Conclusion

Quality photos are essential for communication and promotion

If you are planning an expedition, don't forget to include a photographer in your team!



THANK YOU!

Annie GUIRAUD & Philippe CROCHET

More pictures on our website : www.philippe-crochet.com





Documenting caves of Köýtendag (Turkmenistan)

Philippe Crochet (1), Annie Guiraud (2)

(1) President of the Audiovisual Commission of the Fédération Française de Spéléologie

(2) Member of the Fédération Française de Spéléologie

Abstract

After an initial reconnaissance in 2023, a scientific documentation expedition took place in the Köýtendag massif of Turkmenistan in April 2024. This massif is home to caves that were explored and studied by Russian cavers in the 1980s, but have since been almost completely forgotten. The 17-people multidisciplinary team had several objectives, including surveying known caves and a 3D photogrammetric rendering of one of them, studying the karstological context and cave fauna, and looking for new caves. But photographic documentation of the caves also had a special place, with a dedicated team ensuring that images were available to fully enhance the expedition.

Résumé

Après une première reconnaissance en 2023, une expédition de documentation scientifique s'est déroulée dans le massif du Köýtendag, au Turkménistan en avril 2024. Ce massif recèle des cavités qui ont été explorées et étudiées par les spéléologues russes dans les années 80, puis sont quasiment tombées dans l'oubli. L'équipe pluridisciplinaire de 17 personnes avait plusieurs objectifs, notamment la topographie des grottes connues et le rendu photogrammétrique 3D de l'une d'entre elles, l'étude du contexte karstologique et de la faune cavernicole ainsi que la recherche de nouvelles cavités. Mais la documentation photographique des cavités avait aussi une place privilégiée avec une équipe dédiée, ce qui a permis de disposer d'images pour pleinement valoriser l'expédition.

1. Introduction

The story began back in 2019, when some French cavers, (including Jean-Pierre Gruat, the project leader) decided to take a close look at the base of the great cliffs of the Köýtendag massif in Uzbekistan, which they had spotted on a map. Little is known about this massif, which is the final link in the Gissar Mountains. These begin in Tajikistan, and extend into the Baisun Tau massif, which includes the Chul Bair range (home to the Boy-Bulok and Vishnechsky caves) and the Hodja-Gur-Gur-Ata range (home to the Dark Star cave) in Uzbekistan. The aim of exploring the bottom of the cliff and looking for cave entrances proved impossible, as they couldn't get permission from the Uzbek military.

After searching for documentation on the massif, mainly from Russian sites, it turned out that various articles were written by a Russian geologist (Vladimir Maltsev, 1957-2014) and dealt with the Gap-Gotan cave system (Cupp-Coutun), which he studied in the 1980s and 1990s. The rest had been little explored since the fall of the USSR, as there were no Turkmen cavers to take over the initial studies, but everything confirmed the geographical, geological and karstological interest of the Köýtendag massif, which had been almost forgotten for about 30 years.

Therefore, a caving expedition to Köýtendag from the Turkmen side was planned in 2020. However, due to the Covid 19 pandemic, and the long administrative procedures required to get the necessary permits, this could only be achieved in 2023, with a reconnaissance trip and then in 2024, with a proper scientific expedition.

To get a visa for Turkmenistan requires a lot of planning and authorization: the massif lies on the border between Uzbekistan, Turkmenistan, and Afghanistan, and is classified as a national reserve. Moreover, most of the caves are located in a military zone. Fortunately, the Turkmen ambassador to France, as well as the French ambassador to Turkmenistan actively supported our project. Thanks to them in 2023 and 2024, we finally got the invitation letter from the Turkmen Ministry of Foreign Affairs.

The 2024 team was composed of Philippe Audra, Lionel Barriquand, Jean-Marie Briffon, Gaël Cazes, Philippe Crochet, Jean-Philippe Grandcolas, Jozef Grego, Jean-Pierre Gruat, Annie Guiraud, Jean-Paul Hérel, Bernard Lips, Josiane Lips, Frédo Poggia, Alexandre Pont, Xavier Robert, and Jo De Waele.

2. Geographical and geological features of the Köýtendag

The geography and geology of the Köýtendag massif are described in greater detail in the article by Ph. Audra et al. (Speleogenesis of Gap-Gotan (Cupp-Coutunn) cave system, Köýtendag massif, Turkmenistan), included in the proceedings of the UIS 2025 Congress

The Köýtendag massif is the last western part of the Pamir-Alaï chain, which extends further east towards Tajikistan, Kyrgyzstan and Uzbekistan. The massif culminates at Aýrybaba (3139 m), the highest point in Turkmenistan. The massif is elongated in a north-south direction for around 60 km, with a width of 12 to 20 km. Its Turkmen slope, rising at a gradient of 20° to the summit, is cut by a multitude of canyons, more than 300 m deep and up to 700 m, making travel at level virtually impossible.

The karstified strata is made up of Upper Jurassic limestones, 400 m thick, with a massive reef facies with large corals, changing to a more marly and dolomitic facies at the top. In places, these limestones are slightly metamorphosed and silicified. This sedimentary series rests unconformably on the Precambrian metamorphic basement, which is composed of gneiss. The Köýtendag limestones are concordantly overlain by the 200 m-thick Gowurdak (or Gaurduck) evaporites, mainly composed of gypsum (Kimmeridgian-Tithonian). The Köýtendag is an asymmetrical anticlinal dome, broken by major north-south faults, including the Chilghaz fault, which cuts the plateau into two “steps”.

3. The objectives of the expedition

Surveying was one of the main aspects of the expedition, employing up to ten people (Jean-Marie Briffon, Jean-Philippe Grandcolas, Jean-Pierre Gruat, Jean-Paul Héreil, Bernard Lips, Frédo Poggia, Alexandre Pont, Xavier Robert, Philippe Audra, Jo De Waele). Although maps of the main systems had already been made by Russian cavers in the 1980s, they were not available in detailed format (they were in paper version only, with neither profile view nor indication of depth). In addition, techniques have considerably evolved: a laser-aimed DistoX is now used for measuring and the data are collected by mobile phone (Topodroid). Calculations and drawings are then made on computer using Therion or Topo Calc'R softwares. In the end, a great deal of work was carried out: fifteen caves were visited and some 19 km of passages were surveyed. All these maps provide a global view of the systems known to date and of the potential for future exploration.

In addition to the mapping work, Geophysicheskaya cave was the subject of a **3D photogrammetric modeling** operation. The aim was to digitize all or part of the cave in order to accurately record its geometry, thus serving as a working basis for karstologists but also to offer an immersive vision of this exceptional cave to complement the photographs. This work was carried out by Gaël Cazes with a powerful LED projector and a pair of GoPro-type cameras. Over 50,000 shots covering more than 1.3 km of passages were taken to form the basis of the subsequent photogrammetric calculation. These images were then processed to generate a final 3D envelope. The result obtained have confirmed the feasibility of photogrammetry for large-scale digitization projects, offering a good alternative to lasergrammetry when the time available underground is a limiting factor.



Photo 1
The Pink Chamber in Geophysicheskaya cave is partly covered with gypsum crusts. The stalagmites in the foreground are hollow.

The team in charge with **karstology and hydrogeology** (Philippe Audra, Jo De Waele) worked on the collapse craters in gypsum and the speleogenesis of the caves.

The study of the underground fauna of the Köýtendag was started in 1963 by Russian teams. From 2013 to 2015, an extensive research program on the fauna of Turkmenistan was carried out.

Josiane Lips and Josef Grego, Slovakian mollusk specialist, made up the biologist team on the expedition. Terrestrial and aquatic fauna from eight caves, four former mines and a dozen springs were sampled. On the whole, the underground fauna was relatively poor, due to the fact that most of the caves are very dry. However, around 150 species of terrestrial invertebrates were recorded in the caves. It is already possible to say that many of the species collected are new to Turkmenistan, and several would be new to science. In addition, the study of the spring fauna has led to the identification of most of the species mentioned in the literature, but also to the collection of many new species. Some species that were very common in the 2023 expedition were absent in 2024, and conversely. This may reveal a seasonal variation in the cave fauna.

Relations between karst and mammals in the Köýtendag were studied for the first time by Lionel Barriquand. Many caves proved interesting: bones were found in Mumiyskaya and Tush-Yuruk contains many traces of hyenas, porcupines, as well as many other mammals.

Looking for new caves was a major objective of our expedition, so the team focused their search on four main areas. On the plain at the north-western foot of the massif, the limestone disappears beneath a cover of gypsum. There, some dark spots which had been spotted on Google Earth turned out to be real cenotes. An inventory of them was made. These gypsum zones are home to classic karst features, as well as depressions up to 70 m in diameter resulting from the collapse of vast chambers. Caves known to the Russian teams were found and mapped, but there were few discoveries. A second focus was the exploration of the many canyons that descend from the summit ridge some of which are dozens of kilometers long. In places, the walls featured dark spots that looked like cave entrances, but most of the time, they turned out to be simply “bubbles” with no lead. Apparently, in that area, few canyons intersect with former systems.

Another search area was at the south-western end of the massif, in the military area, in the canyons around the known caves. There, Russian teams had listed some twenty caves less than 500 m long. They remained untraceable and the park rangers didn't seem to know about them

Finally, the last objective was to find high altitude entrances. The exploration team hiked up to an altitude of about 2,400 m, and reached an antecima. On the Russian map, a cave was marked. Using binoculars, they could spot entrances further up the mountain. Unfortunately, the team did not have time to reach it.

Photo 2 (up) - Giant gypsum chandelier in Geophysikeskaya. Backlight is necessary to enhance the translucence of the chandeliers.

Photo 3 (down) - Hashim-Oyuk cave. “The Prison” is a five-meter-deep, two-meter-wide hollow gypsum formation



4. Photographic documentation of the caves

Bibliographic research had revealed photos dating back to Russian explorations over 40 years ago made by V. Malstev, and some more recent ones taken by Rémy Wenger during a short expedition in the 1990s. The Geophysicheskaya (Gulschirin cave) had been partly documented under another name for conservation purposes. As a matter of fact, this exceptional cave remained practically untouched thanks to its late discovery (1986), whereas the other caves of the area were severely damaged by gypsum and onyx mining.

Cupp-Coutunn-Promeshutochnaya is the main cave system of the massif with a development of about 50 km. But it's mainly Geophysicheskaya (Gulschirin), and Hashim-Oyuk to a lesser extent, which have the most spectacular gypsum crystallizations of a scale and beauty comparable to those of Lechuguilla Cave in the USA. All these gypsum decorations can crystallize thanks to the very dry atmosphere of the caves. Chandeliers are formed of massive, transparent gypsum crystals, hanging from the ceilings. Other crystallizations are formed by fibers that grow from the base, like blades of grass. Crosses are made up of several fibers that bend or even curl as they develop, looking like flowers. Needles are found by thousands on the ground of some passages. The countless hollow stalagmites

can be several meters high and often turn into columns as they reach the ceiling.

We therefore faced a major challenge: we had many exceptional subjects to cover, and we needed to document the entire Geophysicheskaya cave. Knowing that time in the country and the daily hours were limited, we devoted our time exclusively to photography, and concentrated our efforts on the two most interesting caves. A total of thirteen days were devoted to photography, with eight trips to Geophysicheskaya (Gulschirin), but there the possibilities for beautiful images are endless, three to Hashim-Oyuk, one to Promeshutochnaya and one to Kaptarhana, with an average of around ten shots per trip.

The main objective was of course to illustrate with lighting that emphasized the natural beauty of the subjects. Photographs were taken only with electronic flash units of varying power (Yongnuo 560III, Godox AD300 and Godox AD600). Given the whiteness of the gypsum-covered rooms, it was necessary to avoid direct lighting, which would have overexposed the shot, and to play with reflections. We were often assisted by members of other teams (mainly Jean-Pierre Gruat, Claire Falgayrac and Jean-Marie Briffon), so that we were able to work in groups of three or four, which is an optimal configuration.



Photo 4 - The White Chamber in Geophysicheskaya is entirely covered in gypsum.



Photo 5 - The Flat Chamber in Geophysikeskaya features more “classical” stalactites except for this yellow cluster in the middle of a grey ceiling.



Photo 6 - Red passages in Geophysikeskaya. The dark red color of the walls is due to the pyrite in the rock.

5. Discussion

In the months that followed, the photos were used to illustrate various publications: articles in three caving magazines such as *Spelunca* (France), *NSS News* (USA), and *Speleologia* (Italy) and in the French magazine *Terre Sauvage* for the general public. A bilingual brochure richly illustrated was also published. Some twenty photos were exhibited at the Institut Français du Turkménistan. We also made a slide show showing the underground landscapes of Köýtendag.

This widespread communication based on the impact of the images has aroused the interest of film producers who consider making a documentary about this region of Turkmenistan.

The photographs were donated to the Turkmen authorities, who will be able to use them to support an application for UNESCO classification, a long-standing project that has not yet been completed. We hope they will also be able to motivate them to provide future expeditions with the necessary authorizations to search for new caves, and to encourage them to protect the caves.

For a photographer, being part of an expedition is an opportunity to cover unusual, even extraordinary subjects. It's always an experience we approach with the idea that

we might not be able to repeat it in the future. It can be unique. What's more, it's limited in time. Going on an expedition generally represents a big investment in terms of availability and energy, but also financially.

In this context, the photographer is required to achieve a satisfactory result. It is out of question to be stuck because of damages or breakdowns of the photo equipment, so everything is doubled, camera, lenses, chargers, memory cards, cables, etc. We have to bring back images that best illustrate the discoveries and the team's work. Photos are the ideal complement to the final report. But the quality of the images must also enhance the value of the expedition; this can make it easier to find sponsors and obtain permits. For an expedition, a dedicated photographer or filmmaker is definitely a plus.

Photographic documentation is an essential part of an expedition, unfortunately all too often neglected, as it enables the expedition to be promoted, particularly for communication purposes (reports, articles, sponsorship requests). Moreover, in the case of this expedition, this aspect was put forward to get permits from the local authorities, who were very receptive to the idea, seeing it as a way of highlighting the richness of their heritage.

6. Acknowledgments

- His Excellency Maksat Chariev, Ambassador of Turkmenistan to France.
- The Ministry of Foreign Affairs and the Ministry of Environmental Protection of Turkmenistan.
- Ms Chynar Rustemova, Executive Secretary of the Turkmen National Commission for UNESCO.
- Mr Jumamyrat Saparmuradov, CEPF/CLLC Project Manager, Turkmenistan.
- Mr Philippe Merlin, French Ambassador to Turkmenistan.
- Mr Romain Gouvernet, Director of the French Institute of Turkmenistan.
- Mr Shaniyaz Menliev, Head of the Scientific Department of the Koytendag Reserve.
- Mr Saparklych Rahmanov, Director of Owadan Tourism, and Mrs Dilora Geldiyeva, Sales Manager of Owadan Tourism.

7. References

- AUDRA P., BARRIQUAND L., BRIFFON J.-M., CAZES G., CROCHET P., FALGAYRAC C., GRANDCOLAS J.-P., GREGO J., GRUAT J.-P., GUIRAUD A., HÉREIL J.-P., LIPS B., LIPS J., POGGIA F., PONT A., ROBERT X., DE WAELE J. (2024) Expédition Köýtendag 2024 Turkménistan. *Spelunca* 175 :3-24.
- AUDRA P., CAZES G., ROBERT X., BARRIQUAND L., DUBLYANSKY Y., KOLTAI G., TEMOVSKI M., POLYAK V., CARBONE C., HERESANU V., GRUAT J.-P., DE WAELE J. Speleogenesis of Gap-Gotan (Cupp-Coutunn) cave system, Köýtendag massif, Turkmenistan. 19th Speleological International Congress, Session Karst Hydrogeology and Speleogenesis
- CROCHET P., GUIRAUD A (2024) The Köýtendag 2024 French Expedition to Turkménistan. *National Speleological Society News* volume 82, number 2:4-10.
- CROCHET P., GUIRAUD A (2024) Expédition Köýtendag 2024 – Avril 2024. Brochure 92 p
- CROCHET P., GUIRAUD A (2022) What type of photograph can document caves? *Spelunca* 175:3-24.
- MALTSEV V. (1997) Cupp-Coutunn Cave, Turkmenistan. In: HILL C.A. & FORTI P. (Eds.), *Cave minerals of the world* (2nd. ed.), 323-328. National Speleological Society, Huntsville.
- MALTSEV V.A., SELF C.A. (1992) Cupp-Coutunn cave system, Turkmenistan, Central Asia. *Proceedings of Bristol University Speleological Society*, 19(2):117-150.
- VOUILLON P., CROCHET P. (2024) Turkménistan Joyaux souterrains. *Terre Sauvage* 65:64-73.

Two new cavernicolous species of Entomobryidae (Collembola) from Turkmenistan, Central Asia

MAHMOOD MEHRAFROOZ MAYVAN^{1,*}, JOSIANE LIPS^{2,3} & ĽUBOMÍR KOVÁČ^{1,*}

¹Department of Zoology, Institute of Biology and Ecology, Faculty of Science, Pavol Jozef Šafárik University, Šrobárova 2, 041 54 Košice, Slovakia

✉ Mahmood_Mehrafrooz@yahoo.com;  <https://orcid.org/0000-0002-7494-0981>

✉ lubomir.kovac@upjs.sk;  <https://orcid.org/0000-0001-8194-2128>

²Fédération Française de Spéléologie, Groupe d'Étude de Biospéologie, 28 rue Delandine, 69002 Lyon, France

³✉ josiane.lips@free.fr;  <https://orcid.org/0009-0004-8403-5506>

*Corresponding authors

Abstract

Descriptions of two new cavernicolous collembolans of the family Entomobryidae Womersley, 1934 from Turkmenistan resulted from speleological expeditions organized by the association Karstology & Researchs in Central Asia (KRAC) and sponsored by the Commission for International Relations and Expeditions (CREI) of the French Speleology Federation to caves and mines in the Koytendag Mountains in 2023–2024. Two new species, *Entomobryoides gruati* **sp. nov.** and *Drepanura koytendagi* **sp. nov.** are described as the first Collembola discovered from subterranean ecosystems of Turkmenistan, Central Asia. Tables summarizing the diagnostic characters of world species of *Entomobryoides* Maynard, 1951 and *Drepanura* Schött, 1891 are provided. Both new species are associated with subterranean habitats in dark cave zones. The discovery of two cave entomobryids highlight the high biodiversity potential of Turkmenistan's cave ecosystems and suggest that vast majority of undescribed species are yet to be found. Given the minimal exploration of this region, a further biospeleological effort is essential to reveal diversity, distribution and endemism of subterranean fauna in Central Asia.

Key words: biodiversity, *Drepanura*, *Entomobryoides*, taxonomy

Introduction

As the second-largest country in Central Asia, Turkmenistan is bordered by the Caspian Sea to the west, Iran and Afghanistan to the south, Uzbekistan to the north and east, and Kazakhstan to the northwest (Peyrouse 2012; Khadim & Khadim 2024). Characterized by a continental climate, it is the driest country in Central Asia, with nearly 80% of its land covered by desert. Nevertheless, certain areas of the country feature mountainous ecosystems. These include (1) the Koytendag (Kugitangtau) Mountains, a 50-kilometer-long karst massif along the border with Uzbekistan, (2) Kopet Dag Mountains in the south, which run along the border with Iran, and (3) the larger Balkan Mountain range in the west, which dominates the landscape near the Caspian Sea. These mountain systems host numerous caves that potentially support rich arthropod biodiversity. However, subterranean arthropods in Turkmenistan have been only scarcely studied, and current knowledge on these invertebrates remains highly limited (Babaev 1994; Peyrouse 2012; Sendra *et al.* 2017, 2021; Decu *et al.* 2019).

The present study is based on recent speleobiological fieldwork conducted in several caves and mines in Koytendag Mountains, eastern Turkmenistan, by the Commission for International Relations and Expeditions (CREI) of the French Speleology Federation. Here we report the discovery of two new species of Entomobryidae, described for the first time from Turkmenistan's caves. Additionally, tables summarizing the diagnostic characteristics of world species of *Entomobryoides* Maynard, 1951 and *Drepanura* Schött, 1891 are provided.

Material and methods

Cave descriptions

Kattakamov Cave. These former mining sites, primarily exploited for lead and zinc extraction, are aligned along a major geological fault that extends from north to south across the Koytendag massif. Several easily accessible galleries open into the Kattakamov Canyon. The explored sections include at least three of these galleries, which provide a relatively stable subterranean environment suitable for explorations of the subterranean invertebrates. The first gallery (37°51'30"N, 66°29'12"E) opens on the right wall of the canyon (Fig. 1A), on a small plateau formed by spoil heaps, at ~1,200 m a.s.l. The passage is a straight exploratory tunnel driven perpendicular to the mineralized vein, with a square cross-section of 2×2 m. Two very short side branches, each ≈ 7 m long, depart near the end of the gallery; from the terminal part of mine the daylight of the entrance remains still visible.



FIGURE 1. A–D, Kattakamov Cave, A, Entrance to the first gallery (Photo: Bernard Lips); B, Entrance to the second gallery (Photo: Bernard Lips); C, Entrance to the third gallery (Photo: Bernard Lips); D, *Entomobryoides gruati* sp. nov. in Kattakamov Cave (Photo: Josiane Lips).

The second gallery (Fig. 1B) is accessible through two separate entrances (37°51'25"N, 66°29'24"E). The gallery was excavated along the axis of the main fault, with several directional shifts oriented southeast. Numerous short side tunnels branch off from the main gallery, most ending abruptly at former mining faces. One of these side passages provides access to a shaft estimated to be 30–40 meters deep (22 m measured), while another shaft of similar depth (~40 m) opens directly from the main tunnel. Additionally, an ascending chimney measuring approximately 25 meters in height is accessible from one of the lateral branches. Also, the third gallery (Fig. 1C) represents a large and complex mining system developed across multiple levels (37°51'03"N, 66°29'29"E), located at the upper section of the mineral vein. The structure consists of extensive excavations and chambers.

Gap-Gotan (Kap Kutan) and Promezhutochnaya (Promeszytochnaya) caves. These caves form the largest known cave system in the area, with a total development of approximately 52 km, including numerous small loops and connections (Fig. 7). The system comprises four to five main parallel conduits extending in a north–south direction, spaced 200–300 meters apart and each measuring one to two kilometers in length. Numerous lateral passages, some of considerable size, frequently reconnect with the main galleries, resulting in a highly intricate and labyrinthine structure. Gap-Gotan Cave (Fig. 6A) is located at an altitude of approximately 676 meters above sea level (37°38'29"N, 66°24'29"E) and constitutes the eastern section of the system, while Promezhutochnaya Cave (Fig. 6B) (37°38'35"N, 66°24'05"E) represents western part of the system. The two sectors are connected by a long and narrow passage.

Kaptarkhana (Kaptarhana) Cave. This cave (Fig. 6C) is entirely developed in gypsum. It opens through a large collapse measuring approximately 12 × 25 meters. To enter the cave, one must descend a steep slope leading to a large underground gallery, measuring 12 to 20 meters in width and 6 to 8 meters in height (Fig. 8). This gallery extends approximately 120 meters upstream and eventually ends in a blockage. Upstream, the floor consists of a steep slope cluttered with blocks of varying sizes and stability. Several depressions contain shallow pools of water. All water bodies are situated at the same altitude, likely corresponding to base of the local groundwater drainage.

Methods

Collembola specimens were collected using an aspirator. After transport to the laboratory, the specimens were placed in plastic tubes filled with 96% ethyl alcohol for the subsequent preservation. For observation under an optical microscope with phase contrast, the specimens were mounted in Heinz's medium, followed by clearing in Nesbitt's fluid (Jordana 2012). To compare the effectiveness of different clearing methods, additional specimens were gently boiled in a glass evaporating dish containing 95% ethyl alcohol on an electric hot plate for approximately one minute to remove fat from the body. For clearing, the specimens were transported to concave glass dish with 10% aqueous solution of KOH for 1 min. and then transferred to a dish containing chlorolphenol until they became transparent. Finally, the specimens were mounted in Swann medium (Rusek 1975). Once dry, the cover glasses were sealed with Canada balsam for protection of mounting medium against drying. The specimens were observed in Leica DM 2500 light microscope equipped with phase and DIC contrasts, and a drawing arm. The terminology used in descriptions follows: labial setal pattern after Gisin (1967); labral setal pattern after Cipola *et al.* (2014); labral papilla shape after Christiansen (1958); labial papilla and maxillary palp after Fjellberg (1999); claw and empodium form after Christiansen & Bellinger (1980); dorsal setal pattern after Szeptycki (1979), with additions of Jordana & Baquero (2005), Soto-Adames (2008) and Jordana (2012).

Institutional abbreviations. CoPJSU—Collembola collection of the Department of Zoology, Institute of Biology and Ecology, Faculty of Science, Pavol Jozef Šafárik University, Košice, Slovakia.

Abbreviations of morphological characters. Abd—abdomen or abdominal segment; Ant—antenna or antennal segment; a.s.l.—above sea level; l.p.—lateral process; Mc—macroseta; mes—mesoseta; Psp—pseudopore; Th—thorax or thoracic segments.

Taxonomy

Class COLLEMBOLA Lubbock, 1870

Order ENTOMOBRYOMORPHA Börner, 1913, *sensu* Soto Adames *et al.* 2008

Superfamily ENTOMOBRYOIDEA Womersley, 1934

Family ENTOMOBRYIDAE Womersley, 1934

Subfamily ENTOMOBRYINAE Schäffer, 1896 *sensu* Zhang & Deharveng 2015

Entomobryoides gruati Mehrafrooz Mayvan & Kováč sp. nov.

(Figs 1D, 2–5, Table 1)

Type locality. TURKMENISTAN, Lebap Province, Koytendag District, v. Gurshun Magdanly (=Svintsovyi rudnik), Kattakamov Cave, Coordinates: 37°51'30.92"N, 66°29'12.37"E, 1240 m a.s.l.

Type material. *Holotype*: female on slide [KaEn101Tu], dark zone, hand collecting on rotten wood, 18.v.2023, leg. J. Lips. *Paratype*: 13 specimens on slides [KaEn102Tu–KaEn114Tu], ibidem, 18.v.2023, 18.iv.2024 and 20.iv.2024, leg. J. Lips. Holotype and paratypes deposited in CoPJSU.

Description. Body length (excluding antennae) 2.48 mm (n=14), up to 2.8 mm in holotype. Ground colour pale brown, antennae with bluish pigment, dorsal side of head paler in lateral parts than the body; coxa pale brown but other part of legs pale blue; eye spots black.

Head. Eight eyes, GH smaller in size to EF (Fig. 2A). Antenna longer than head, without apical bulb and scales. Antennae 1.71 times the length of the head, relative length of Ant I:II:III:IV in holotype as 1:2.67:2.25:3.60; Ant IV without apical vesicle (as characteristic remark for the genus), and pin seta bifurcate (Fig. 2B); subapical organite small and rod-shape, accompanied with a small sensillum only a little bigger; Ant III with sensory organ formed by 2 long-ovaloid sensilla and 4 additional guards sensilla (Fig. 2C); Labrum with 4 smooth prelabral setae and 3 rows of 5, 5 and 4 smooth setae; labral papillae very small, with a minute terminal projection (Fig. 4B). Maxillary palp with 1 apical appendage and 1 subapical seta, with three sublobal hairs (Fig. 4C). Head ventrally with 7 anterior smooth setae and other setae ciliated, setal pattern as in figure 2D. Labium setal pattern formed by 5 smooth setae (a_1 – a_5) in anterior row; basal row with 7 smooth setae as m_1 , m_2 , r_1 , r_2 , e , l_1 and l_2 (Fig. 3C) with m_2 , r_1 and r_2 somewhat smaller than other setae. Labial palp as in figure 3B, with 5 main papillae (A–E) with 0, 5, 0, 4, 4 guard setae respectively; lateral process (l.p.) of labial papilla E surpassing their papilla apex. Right mandible with 4 teeth and left mandible with 5 teeth.

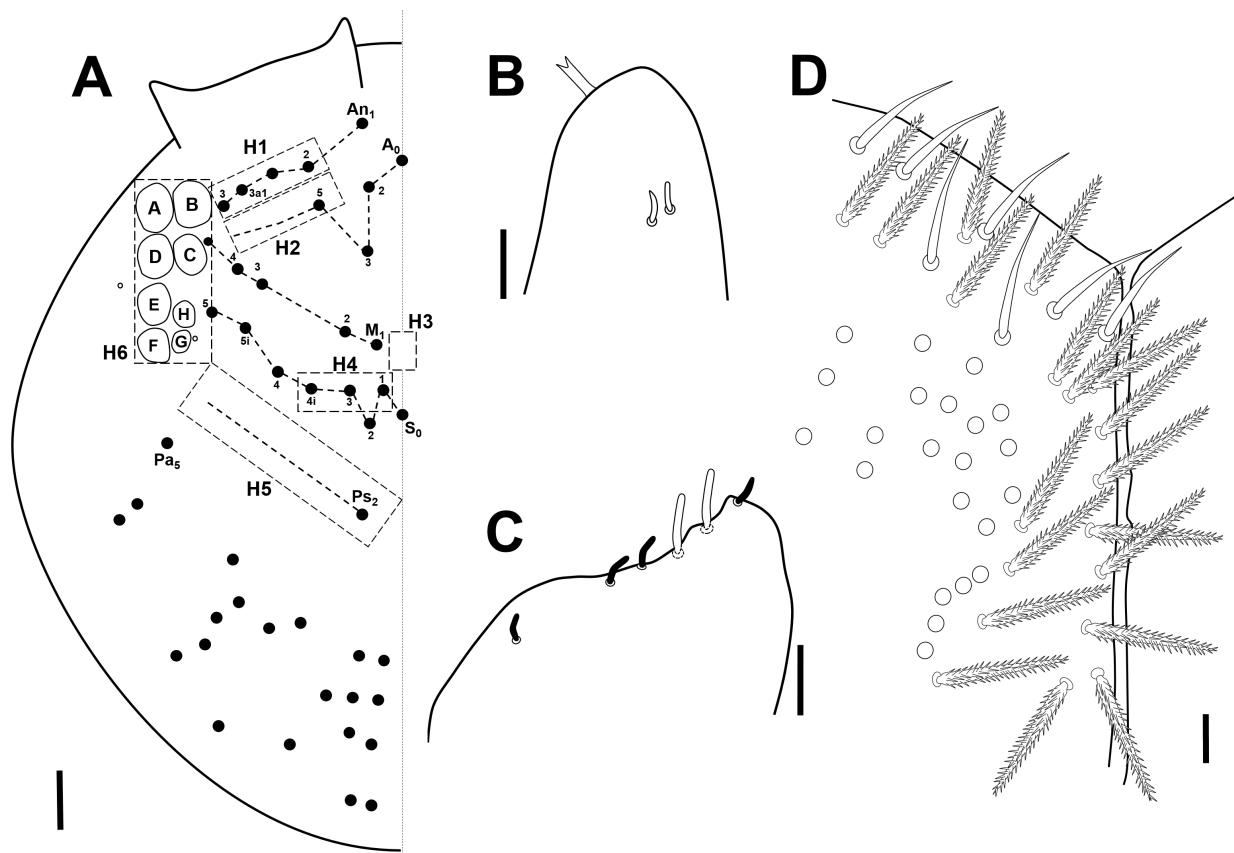


FIGURE 2. *Entomobryoides gruati* sp. nov. A, head, dorsal side—setal pattern; B, Ant IV tip: bifurcate pin seta, and special organite; C, Ant III, distal area with sensory organ; D, head, ventral side—setal pattern of postlabial area. Scale bars: A = 0.025 mm, B–C = 0.01 mm, D = 0.025 mm.

TABLE 1. Diagnostic characters of known *Entomobryoides* congeners.

Legend for the headers of the columns. Head (Fig 2A): **H1**, Mc number on series An₂-An₃; **H2**, Mc number on series A₅-A₇; **H3**, Mc S₀ presence; **H4**, Mc number on series S₁-S₃-S₄; **H5**, Mc number on series Ps₂-Ps₃-Ps₅. Th II: **T1**, Mc number on series m₁-m_{2,2}; **T2**, Mc number on series a₅-m₅. Abd II: **A1**, Mc number on series a₂-a₃; **A2**, Mc number on series m₃. Abd III: **A3**, Mc a₁ presence; **A4**, Mc number in series a₂-a_{3a}-a₃; **A5**, covers the m₃ Mc complex. Abd IV: **A6**, Mc number on series A₁-E_{1a3}; **A7**, Mc number on series A₂-E₁; **A8**, Mc number on series A_{4p}-C₄; **A9**, Mc number on series A₆-B₆; **A10**, Mc number on series A₆-B₆; **LP**, labral papilla presence and shape: 0 = absent, 1 = simple, smooth papilla, 2 = multispinose, 3 = seta-like projection. **ES**, G & H eyes, relative size compared to the E & F eyes: 1 = E&F, 2 as <E&F, **RA**, Ant/head diagonal: 1 as > or = 3, 2 as > or = 2 < 3, 3 as < 2. Claw: **CP**, distance of first paired ventral teeth from claw base, % in relation with total claw length; **CU**, same as CP for first unpaired; **CD**, dorsal tooth: 0 = absent, 1 = basal, 2 = internal teeth level, 3 = intermediate, 4 = duplicate. **D**, total number of differences between the species and *E. grunati* sp. nov. (percentage as respects to all considered characters, in brackets). “?””, unknown (lack of data in an original description).

Species	H1	H2	H3	H4	H5	T1	T2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	LP	ES	RA	CP	CU	CD	D
<i>E. dagestanicus</i> Jordana & Baquero, 2021 (in Baquero <i>et al.</i> 2012)	4	1	0	3	1b	1*	6*	2	4	0	2	1	0	2(3)	2*	1*	2	0*	1*	3	50-60	80*	3*	8 (35%)
<i>E. grunati</i> sp. nov.	4	1	0	3	1b	3	2	2	4	0	2	1	0	2	1	2	2	1	2	3	50-54	70	2	-
<i>E. guthriei</i> (Mills, 1931)	4	1	0	2*	2*	4*	4*	2	4	0	2	1	0	2	1	0*	2	3*	2	2*	50	71	2	7 (30%)
<i>E. kalakaua</i> Carpenter, 1904	3*	2*	0	3	2*	4*	6*	2	4	0	2	1	4*	5*	3*	0*	4*	0*	2	1*	20*	60*	1*	15 (65%)
<i>E. kea</i> Christiansen & Bellinger, 1992	3*	2*	0	3	1a*	4*	4*	2	4	0	2	2*	0	3*	3*	1*	2	1	1*	?	57	76	3*	11 (50%)
<i>E. malena</i> (Christiansen & Bellinger, 1992)	4	1	0	3	1a*	1*	0*	2	5*	0	2	1	0	2	2*	2	2	2*	2	1*	41*	69	3*	9 (39%)
<i>E. mauna</i> Christiansen & Bellinger, 1992	3*	1	0	3	1a*	5*	6*	2	4	0	2	2*	0	4*	2*	3*	2	3*	2	2*	50	75	3*	10 (43%)
<i>E. mineola</i> (Folsom, 1924)	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	3*	2	2*	55	76	1*	2 (33%)
<i>E. puakea</i> (Christiansen & Bellinger, 1992)	5*	1	0	3	?	2*	5*	2	5*	0	2	1	0	2	2*	2	2	3*	2	3	47	67	3*	7 (31%)
<i>E. purpurascens</i> (Packard, 1873)	4	1	0	3	1a*	4*	6*	2	3*	0	2	1	0	2	2*	1*	2	1	2	2*	50	70	2	7 (31%)
<i>E. sotoadamesi</i> Jordana, Potapov & Baquero, 2011	4	1	0	3	1a*	4*	6*	2	5*	0	3*	0*	0	2	0*	2	3*	1	2	2*	50	70	2	9 (39%)

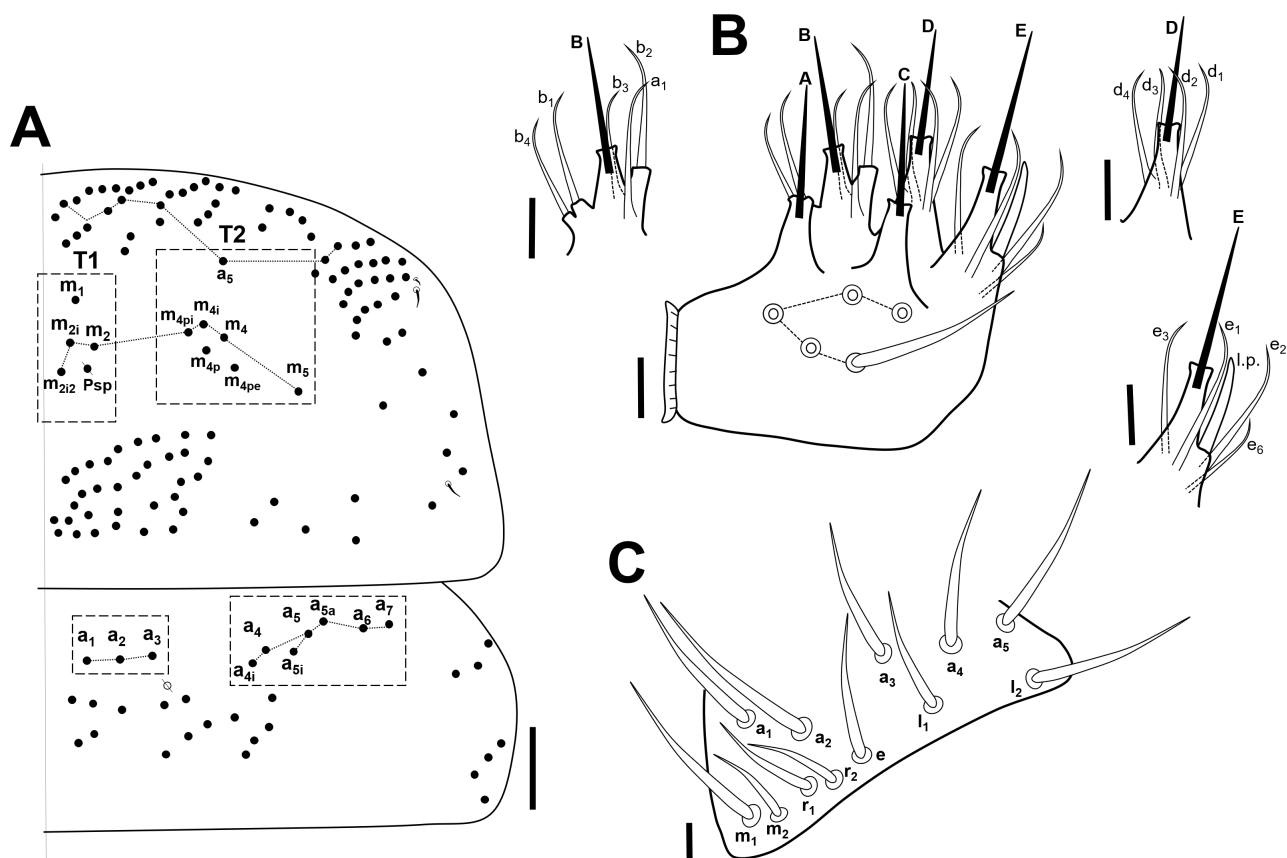


FIGURE 3. *Entomobryoides gruatii* sp. nov. A, Th II–III, dorsal side—setal pattern; B, labial palp with setae A–E on papillae and accessory setae on B, D, E; C, ventral labium—setal pattern of labial triangle. Scale bars: A = 0.05 mm, B–C = 0.01 mm.

Body. Abd IV:III length ratio in holotype = 4. Trochanteral organ with approximately 29–33 setae (Fig. 4D). Tibiotarsus not sub-segmented, with a double row of appressed ciliated setae on all tibiotarsi. Claw (Fig. 5B) with 4 inner teeth: paired at 50–54% (one of them larger and forward), first unpaired at 70% from basis, and the last one closer than 90%; dorsal teeth present and at the level of lateral teeth. Empodium lanceolate, with serrated external lamella. Tenent hair is clavate, similar in length to the claw. Length of manubrium and dens in holotype as 0.47 and 0.52 mm, respectively. Manubrial plate with 5 setae and 2 pseudopores (Fig. 4E). Mucro with apical tooth slightly larger than subapical one, mucronal spine reaching the tip of the subapical tooth; not crenulated dental area about 2 times of the length of mucro (Fig. 5C). Simplified Mc formula: 4-1-0-3-1/4-7/2-4/0-2-1/0-2-1-2-2.

Chaetotaxy of head. Setal pattern of dorsal side of head as in figure 2A. H1 area with 3 Mc (An_2 , An_{3a1} , and An_3 and an additional seta); H2 area with one Mc (A_5); H4 area with 3 Mc (S_1 , S_3 , and S_{4i}); H4' area with 3 Mc (S_4 , S_5 , and S_{5i}); H5 area only with P_{s2} Mc.

Chaetotaxy of mesothorax. Dorsal setal pattern as in figure 3A. Area T1 with 4 Mc (m_1 , m_2 , m_{2i} and m_{2i2}); T2 with 7 Mc (a_5 , m_4 , m_{4i} , m_{4p} , m_{4pi} , m_{4pe} , and m_5).

Chaetotaxy of abdomen. Dorsal setal pattern as in figure 4A & 5A. Abd I with 7 Mc, and with sensilla acc in two different positions, Abd II area A1 with 2 Mc (a_2 and a_3), area A2 with 4 Mc (m_3 , m_{3ep} , m_{3e} , and m_{3ea}); setae 'as' and 'acc' present; Abd III with Mc on A3 absent, area A4 with 2 Mc (a_2 and a_3) and one Mc on A5 (m_3), 'acc' between m_6 and p_6 , 'ms' interior; Abd IV with Mc on A6 area absent, 2 Mc on A7 (A_3 and B_3), A8 with one Mc (B_4), 2 Mc on A9 (B_5 and A_5), A10 with two Mc (A_6 and B_6); sensillar formula as 2,2/2,2,2,12–13,3,3; microsensillar formula: 1,0/1,0,1.

Etymology. The species is dedicated to Jean-Pierre Gruat, who played a major role in organizing the biospeleological expeditions to Turkmenistan. His continuous enthusiasm, time, and efforts were crucial in making these explorations possible.

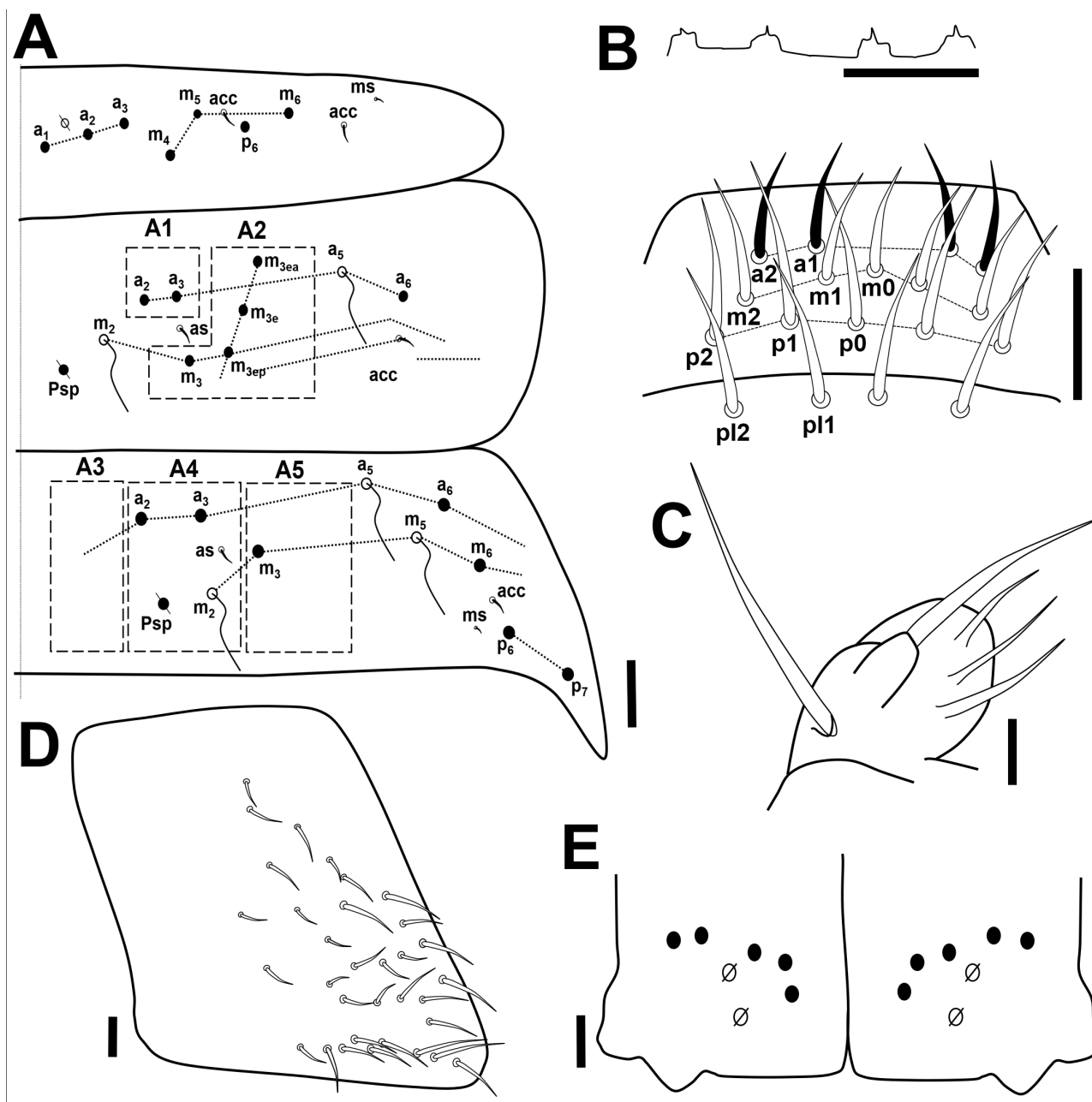


FIGURE 4. *Entomobryoides gruati* sp. nov. A, Abd I–III, dorsal side—setal pattern; B, labrum—setal pattern; C, maxillary palp; D, leg III, trochanteral organ; E, manubrium, ventral side—distal part of manubrial plate. Scale bars: A = 0.05 mm, B–E = 0.01 mm, D = 0.025 mm.

Affinity to subterranean habitats. Specimens of *E. gruati* sp. nov. were found to inhabit a dark zone of the Kattakamov Cave that represents in fact a complex of interconnected mining galleries artificially created in several levels inside the karst massif. The new species has full set of dark pigmented eyes, reduced body pigment and does not show any clearly troglomorphic character. Thus, it could be assigned to category of eutroglophiles, i.e. animals not strictly associated with subterranean habitats, but able to reproduce there.

Remarks. So far, 12 species of the genus *Entomobryoides* have been described worldwide (Bellinger *et al.* 1996–2025). In terms of dorsal macrochaetotaxy, the new species shows its closest resemblance to *E. dagestanicus* Jordana & Baquero, 2021, *E. guthriei* (Mills, 1931) and *E. kalakaua* Carpenter, 1904. Among these species, *E. kalakaua* differs from the *E. gruati* sp. nov. by 3 Mc in the H1 and 2 Mc in the H5 areas on dorsal side of head, whereas the new species has 4 Mc in H1 and only a single Mc (P_{s2}) in H5 tergite area. *Entomobryoides guthriei* can

be distinguished from the new species by 2 Mc in H5 area, whereas the new species has only 1 Mc in this area. In addition, *E. guthriei* shows 4 Mc in the T2 area of Th II, while the new species has 7 Mc in the same area. Moreover, in *E. guthriei*, Mc in the A9 area of Abd IV are absent, in contrast to the new species, which has 2 Mc in this area (A₅ and B₅). Also, *E. dagestanicus* differs from the *E. gruati* **sp. nov.** in 7 Mc in the T2 area of Th II, while the new species has 6 Mc there. In the A8 and A9 areas of Abd IV, *E. dagestanicus* has 2 (A₄ and B₄) and 1 (B₅) Mc, respectively, whereas the new species has 1 (B₄) and 2 (A₅ and B₅) Mc in these areas.

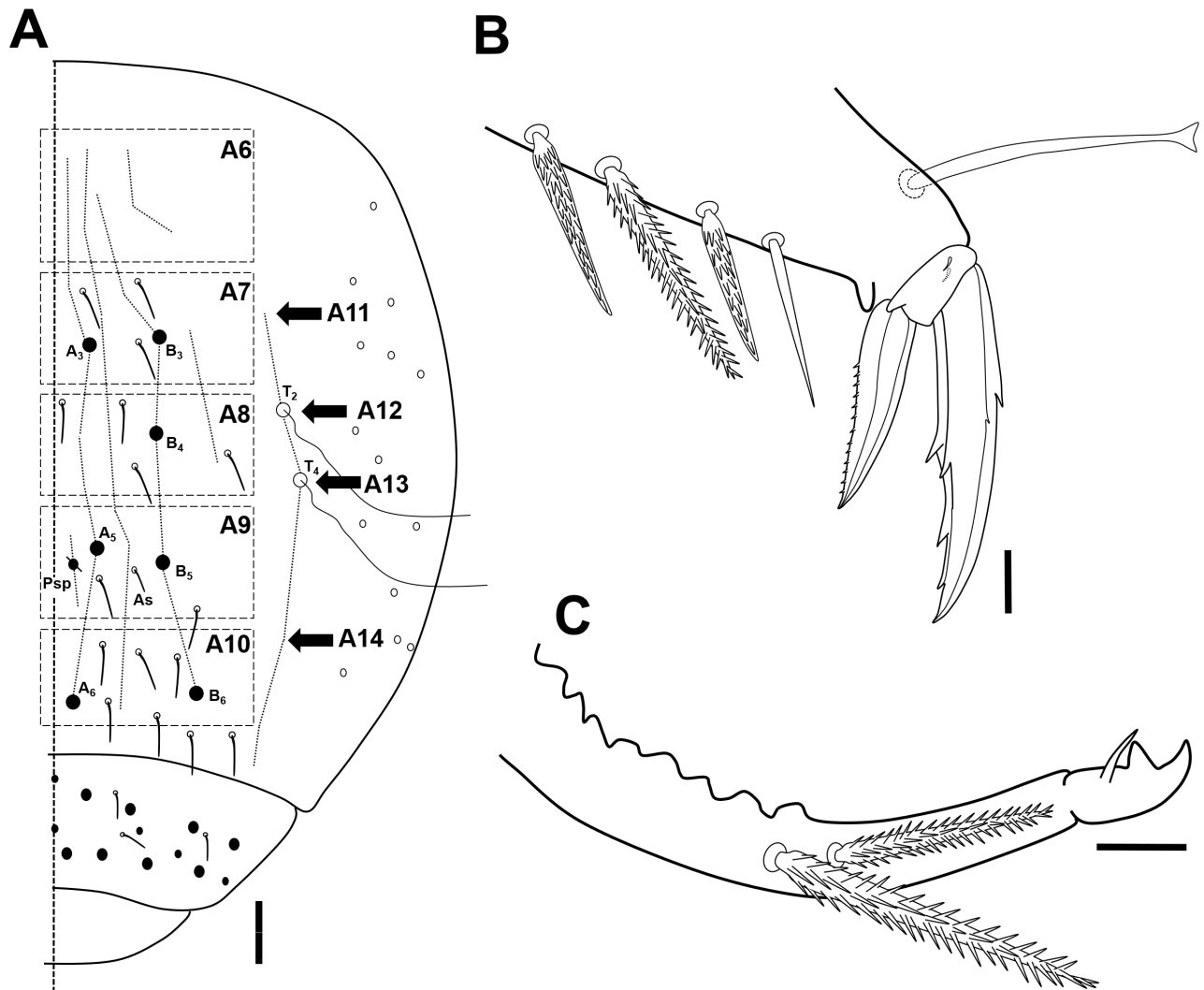


FIGURE 5. *Entomobryoides gruati* **sp. nov.** A, Abd IV–VI, dorsal side—setal pattern; B, claw, empodium and distal part of tibiotarsus; C, distal part of dens and mucro. Scale bars: A = 0.05 mm, B–C = 0.01 mm, D = 0.025 mm.

Genus *Drepanura* Schött, 1891

Drepanura koytendagi Mehrafrooz Mayvan & Kováč **sp. nov.**

(Figs 6D, 9–12, Table 2)

Type locality. TURKMENISTAN, Lebap Province, Koytendag District, v. Gurshun Magdanly (=Svintsovyi rudnik), Promezhutochnaya Cave, Coordinates: 37°38'35.37"N, 66°24'5.76"E, 670 m a.s.l.

Type material. *Holotype*: female on slide [PrDr115Tu], dark zone, hand collecting on bat guano, 18.v.2023, leg. J. Lips. *Paratype*: 10 specimens on slides [PrDr116Tu– PrDr125Tu], ibidem, 15.v.2023, leg. J. Lips. Holotype and paratypes deposited in CoPJSU.

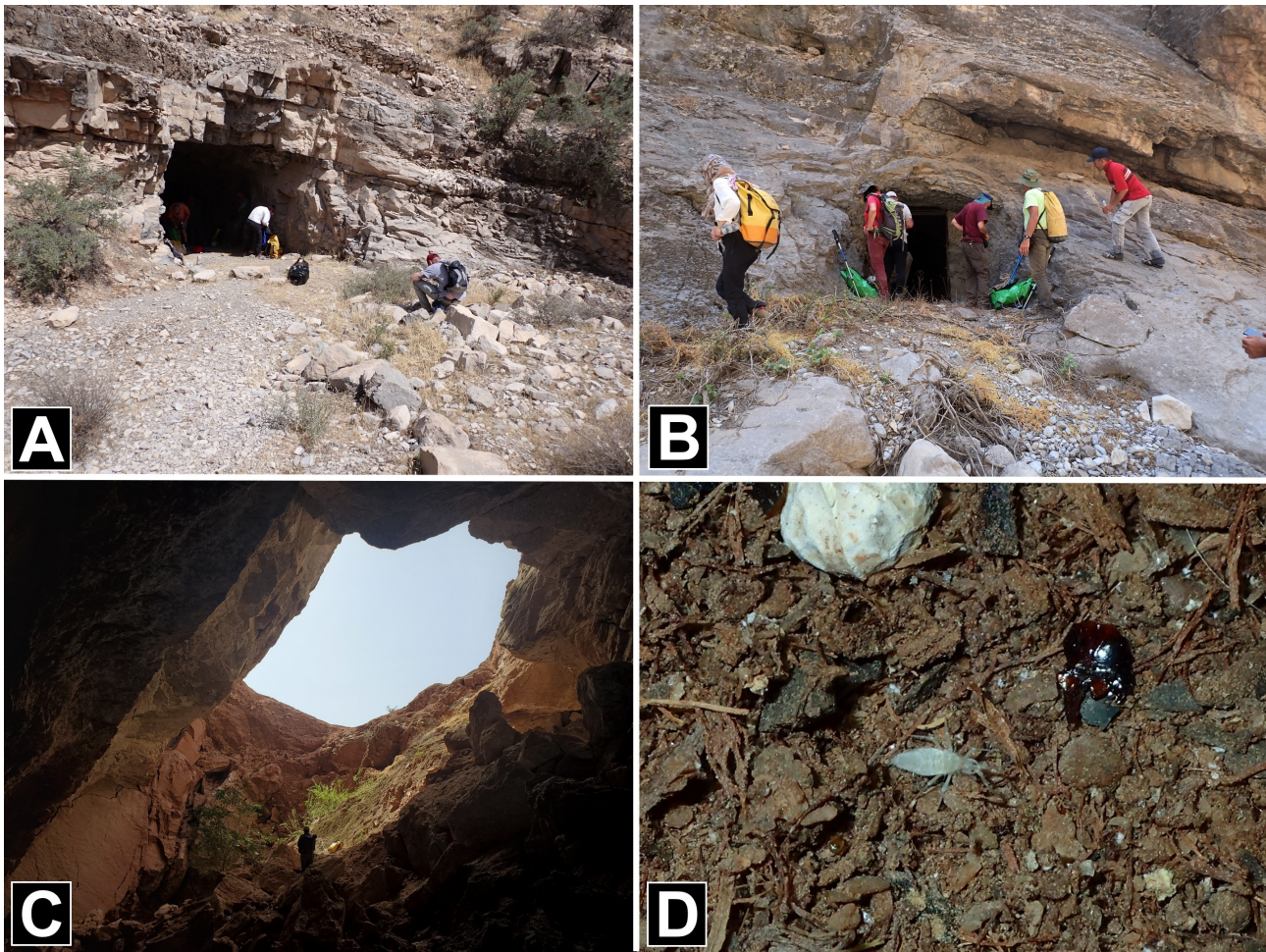


FIGURE 6. A, Entrance of Gap-Gotan Cave (Photo: Bernard Lips); B, Entrance of Promezhutochnaya Cave (Photo: Bernard Lips); C, Entrance of Kaptarkhana Cave (Photo: Bernard Lips); D, *Drepanura koytendagi* **sp. nov.** in Kaptarkhana Cave (Photo: Josiane Lips).

Additional material. TURKMENISTAN, Lebap Province, Koytendag District, v. Gurshun Magdanly (=Svintsovyi rudnik), Kaptarkhana (Kaptarkhana) Cave, Coordinates: 37°49'41.16"N, 66°24'37.62"E, 620 m a.s.l, 3 specimens on slides [KaDr126Tu- KaDr128Tu], dark zone, hand collecting, 16.v.2023, leg. J. Lips (CoPJSU).

TURKMENISTAN, Lebap Province, Koytendag District, v. Gurshun Magdanly (=Svintsovyi rudnik), Gap-Gotan (Kap Kutan) Cave, Coordinates: 37°38'29.65"N, 66°24'29.01"E, 740 m a.s.l, 3 specimens on slides [GaDr129Tu- GaDr131Tu], dark zone, hand collecting, 10.v.2023, leg. J. Lips (CoPJSU).

Description. Body length (excluding antennae) 4.7 mm (n=17), up to 5 mm in Holotype. Ground colour white, antennae pale blue, and eye spots dark.

Head. Eight eyes, GH smaller in size to EF (Fig. 9B), G smaller than H and barely visible with a light microscope. Antennae longer than head, without scales. Antennae 2.92 times the length of the head, relative length of Ant I:II:III:IV in holotype as 1:3.3:0.93:0.8; Ant IV with apical vesicle; Ant III with sensory organ formed by 2 long-ovoidal sensilla and 3 additional guards sensilla (Fig. 9D); Labrum with 4 ciliated prelabral setae and 3 rows of 5, 5 and 4 smooth setae; subapical labral papillae 4, each with 7 secondaries apical spinules (Fig. 10B). Head ventrally with smooth setae. Labium setal pattern formed by 5 smooth setae (a_1 – a_5) in anterior row; basal row with 5 ciliated setae M_1 , R_1 , E, L_1 , L_2 (Fig. 10C). Labial palp as in figure 11B, with 5 main papillae (A–E) with 0, 5, 0, 4, 3 guard setae respectively; papilla E conspicuously loop-shaped, deviating from the typical linear form; all guard setae of labial papilla finely ciliated except guard seta b_2 on papilla B smooth. Right mandible with 4 teeth and left mandible with 5 teeth.

TABLE 2. Diagnostic characters of known *Drepanura* congeners.

Legend for the headers of the columns. Head (Fig 9A): **H1**, Mc number on series An₂-An₃; **H2**, Mc number on series A₅-A₇; **H3**, Mc S₁ presence; **H4**, Mc number on series S₁-S₃-S₄; **H5**, Mc number on series S₁-S₃-S₄. Th II: **T1**, Mc number on series m₁-m₂; **T2**, Mc number on series a₅-m₅. Abd II: **A1**, Mc number on series a₂-a₃; **A2**, Mc number on series m₃. Abd III: **A3**, Mc a₁ presence; **A4**, Mc number in series a₂-a_{2a}-a₃; **A5**, covers the m₃ Mc complex. Abd IV: **A6**, Mc number on series A₁-E_{1a}; **A7**, Mc number on series A₃-E₁; **A8**, Mc number on series A_{4p}-C₄; **A9**, Mc number on series A₅-B₅; **A10**, Mc number on series A₆-B₆. **LP**, labral papilla presence and shape: 0 = absent/ 1 = simple, smooth papilla, 2 = multispinose, 3 = seta-like projection; **ES**, G & H eyes, relative size compared to the E & F eyes: 1 = E&F, 2 as <E&F, RA, Ant/head diagonal: 1 as > or = 3, 2 as > or = 2 < 3, 3 as < 2. Claw: **CP**, distance of first paired ventral teeth from claw base, % in relation with total claw length; **CU**, same as CP for first unpaired; **CD**, dorsal tooth: 0 = absent, 1 = basal, 2 = internal teeth level, 3 = intermediate, 4 = duplicate. **MP**, Manubrial plaque. **D**, total number of differences between the species and *D. koytendagi* **sp. nov.** (percentage as respects to all considered characters, in brackets). “?” , unknown.

Species	H1	H2	H3	H4	H5	T1	T2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	LP	ES	CP	CU	CD	MP	D
<i>D. albocoenulea</i> (Schött, 1917)	3*	1	0	2	2	3*	6*	2	2*	0	0*	1			25-29*			2	2	50*	70-80	2	4 setae, 2 Psp*	8 (42%)
<i>D. aurifera</i> Salmon, 1941	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	50*	75	?	?	1 (50%)
<i>D. cinquilineata</i> Womersley, 1934	3*	1	0	2	2	3*	4*	2	2*	0	0*	1	0	4	3	2	2*	2	2	50*	70*	1*	4 setae, 2 Psp*	10 (43%)
<i>D. citricola</i> Womersley, 1934	3*	1	0	2	2	3*	4*	2	2*	0	0*	1	0	2*	3	2	2*	?	2	40*	70*	1*	3 setae, 2 Psp*	11 (48%)
<i>D. cobaltina</i> (Schött, 1917)	?	?	?	?	?	2*	4*	2	2*	0	0*	1			22*			?	2	40*	60*	0*	?	8 (67%)
<i>D. coeruleopicta</i> (Schött, 1917)	3*	1	0	2	2	2*	2*	1*	2*	0	0*	1	0	1*	2*	2	2*	0*	2	?	?	?	3 setae, 2 Psp*	11 (55%)
<i>D. delibatica</i> Loksa & Bogojević, 1970	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	2	61*	79	0*	?	2 (50%)
<i>D. kirgisica</i> Martynova, 1971	3*	1	0	3*	1b*	3*	4*	2	4	0	2	1	0	1*	2*	2	2*	0*	2	58*	72*	0*	?	12 (55%)
<i>D. koytendagi</i> sp. nov.	4	1	0	2	2	4	7	2	4	0	2	1	0	4	3	2	3	2	2	77-79	80-83	2	6 setae, 2 Psp	-
<i>D. liuae</i> Ma, Chun & Greenslade, 2015	3*	1	0	2	2	3*	5*	1*	2*	0	1*	1	0	1*	2*	2	2*	0*	2	40-50*	70-80	0*	4 setae, 2 psp*	13 (57%)
<i>D. lombergi</i> (Wahlgren, 1899)	3*	1	0	3*	2	1*	4*	2	2*	0	2	1	0	1*	2*	2	2*	1*	1*	58*	74	0*	3 setae, 2 Psp*	13 (57%)

.....continued on the next page

TABLE 2. (Continued)

Species	H1	H2	H3	H4	H5	T1	T2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	LP	ES	CP	CU	CD	MP	D
<i>D. ludmiliae</i> Kaprus' & Szeptycki, 1992	2*	1	1*	3*	2	3*	5*	2	4	0	2	1	0	0*	3	2	2*	1*	1*	48*	74	2	4 setae, 2 Psp*	11 (48%)
<i>D. mongolica</i> Yosii, 1949	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	56*	74	2	?	1 (33%)
<i>D. montana</i> Martynova & Chikatunov, 1968	3*	1	0	3*	2	3*	7	2	5*	1*	2	2*	0	2*	2*	2	3	1*	2	60*	74	2	6 setae, 2 Psp	10 (44%)
<i>D. nubila</i> Barra & van Harten, 2009	3*	2*	0	2	3*	4	2*	1*	3*	0	1*	1	0	3*	0*	2	2*	?	2	?	?	2	?	10 (53%)
<i>D. pallens</i> Rusek, 1981	2*	1	0	2	2	3*	2*	1*	2	0	2	1	0	2*	3	1*	2*	1*	2	60*	67*	0*	3 setae, 1 Psp*	12 (52%)
<i>D. polychaeta</i> Ma, Chun & Greenslade, 2015	3*	1	0	2	2	2*	4*	2	14*	0	0*	1			53–61*		2	2	40*		70*	1*	5 setae, 2 Psp*	10 (53%)
<i>D. quadrilineata</i> Stebaeva, 1973	3*	1	0	3*	2	3*	5*	2	4	0	2	1	0	0*	2*	2	2*	1*	2	50*	75	2	5 setae, 2 Psp*	10 (43%)
<i>D. sexmaculata</i> (Stach, 1963)	?	?	0	3*	2	3*	4*	2	4	0	2	1	0	0*	0*	1*	2*	1*	1*	65*	75	2	3 setae, 2 Psp*	11 (52%)
<i>D. sublateralis</i> Stach, 1963	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1*	1*	51*	81	0*	?	4 (80%)
<i>D. tuxeni</i> Nosek, 1964	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	2	64*	77	0*	?	2 (50%)
<i>D. vitorovi</i> Martynova, 1970	4	3*	0	3*	2	4	6*	2	5*	0	2	3*	0	7*	1*	1*	3	1*	2	51*	74	1*	10 setae, 2 Psp*	12 (52%)

Gap-Gotan / Promezhutochnaya cave system
Köytendag massif, Turkmenistan

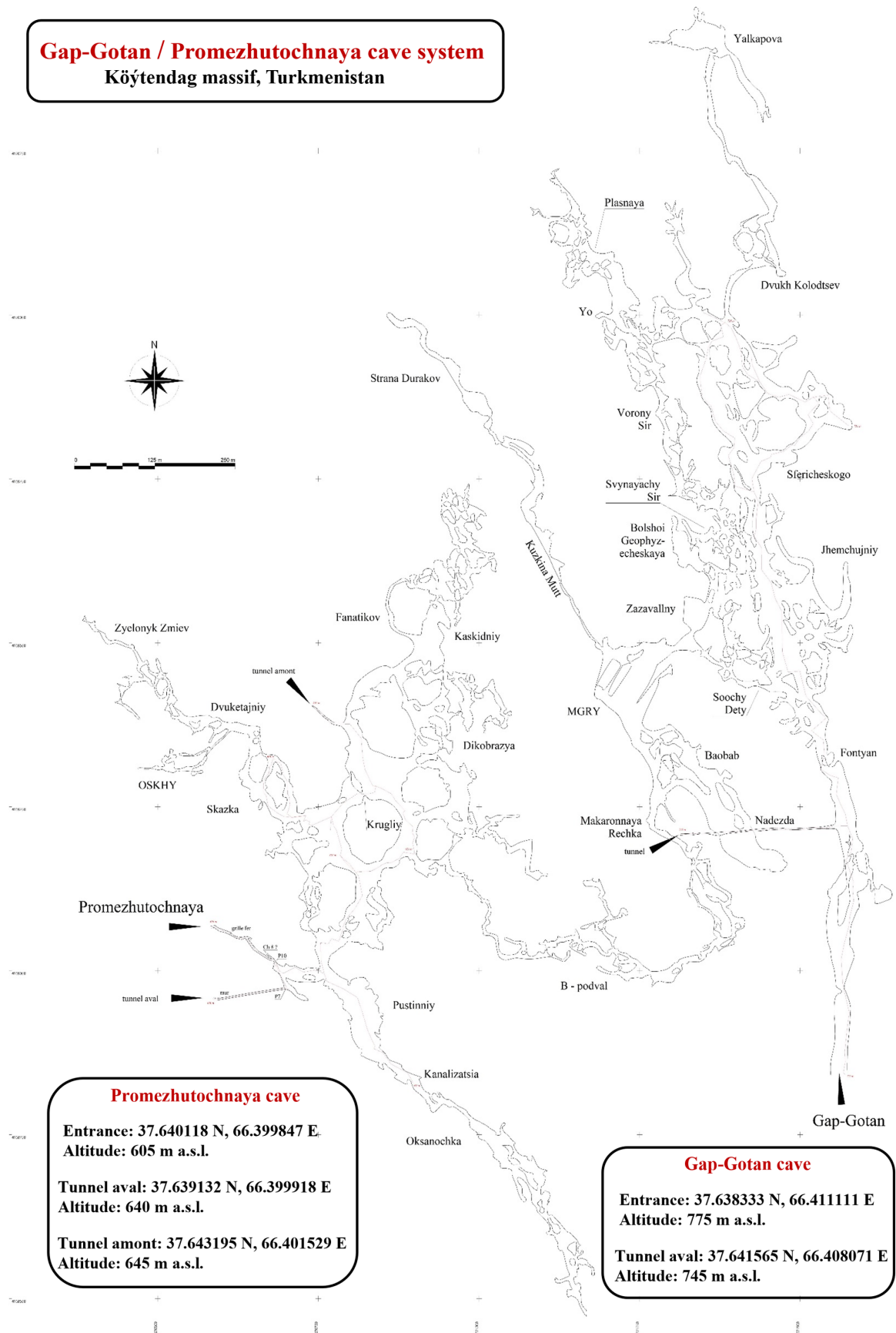


FIGURE 7. Ground plan of the Kap Gap-Gotan / Promezhutochnaya cave system (sketched by University of Bristol Spaeleological Society).

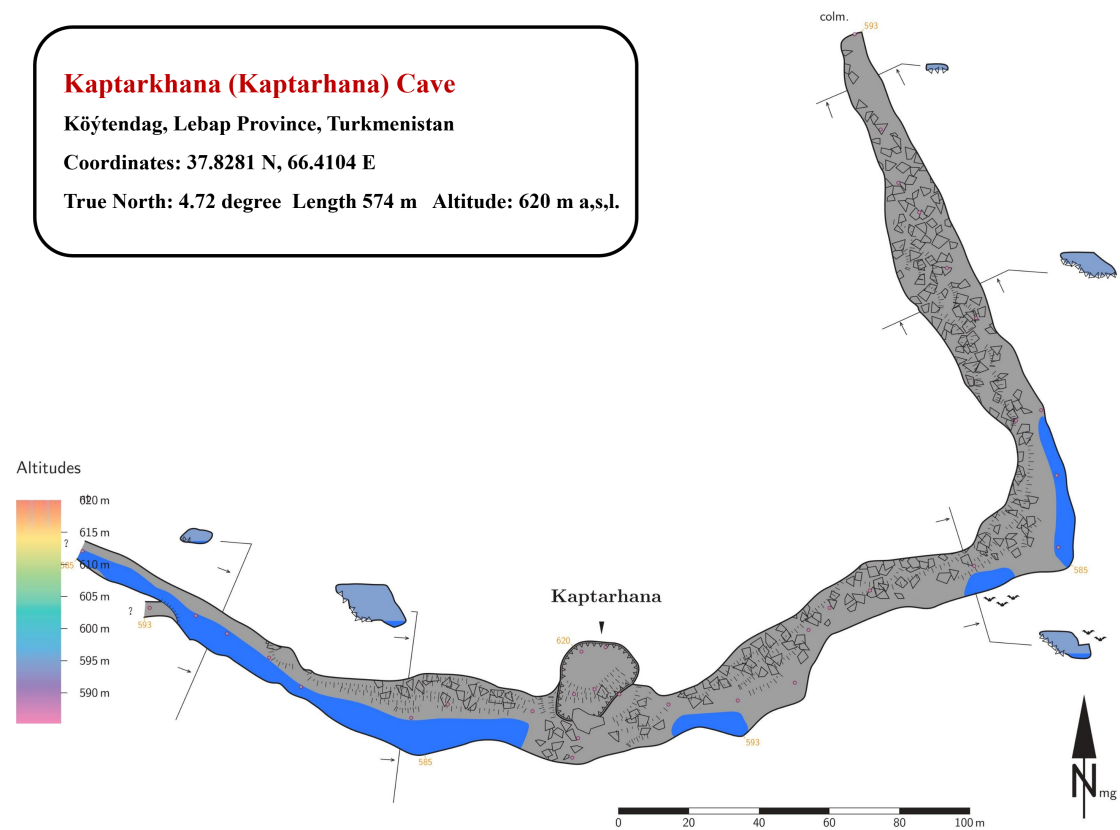


FIGURE 8. Ground plan of the Kaptarkhana Cave (sketched by Bernard Lips).

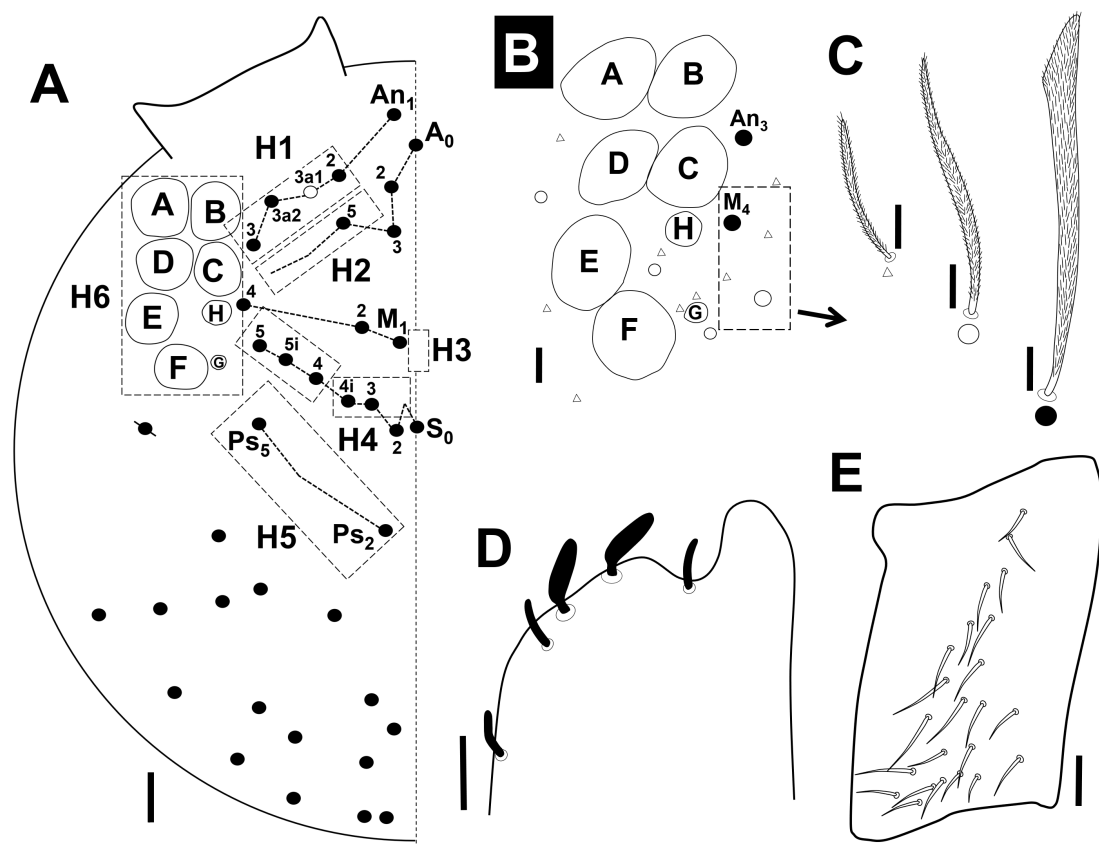


FIGURE 9. *Drepanura koytendagi* sp. nov. A, Head, dorsal side—setal pattern; B, eyes and interocular setal pattern; C, shape and size of macrosetae and mesosetae on head (hollow and black circles—Mc; triangles—mes); D, Ant III, distal area with sensory organ; E, leg III, trochanteral organ. Scale bars: A = 0.025 mm, B–E = 0.01 mm.

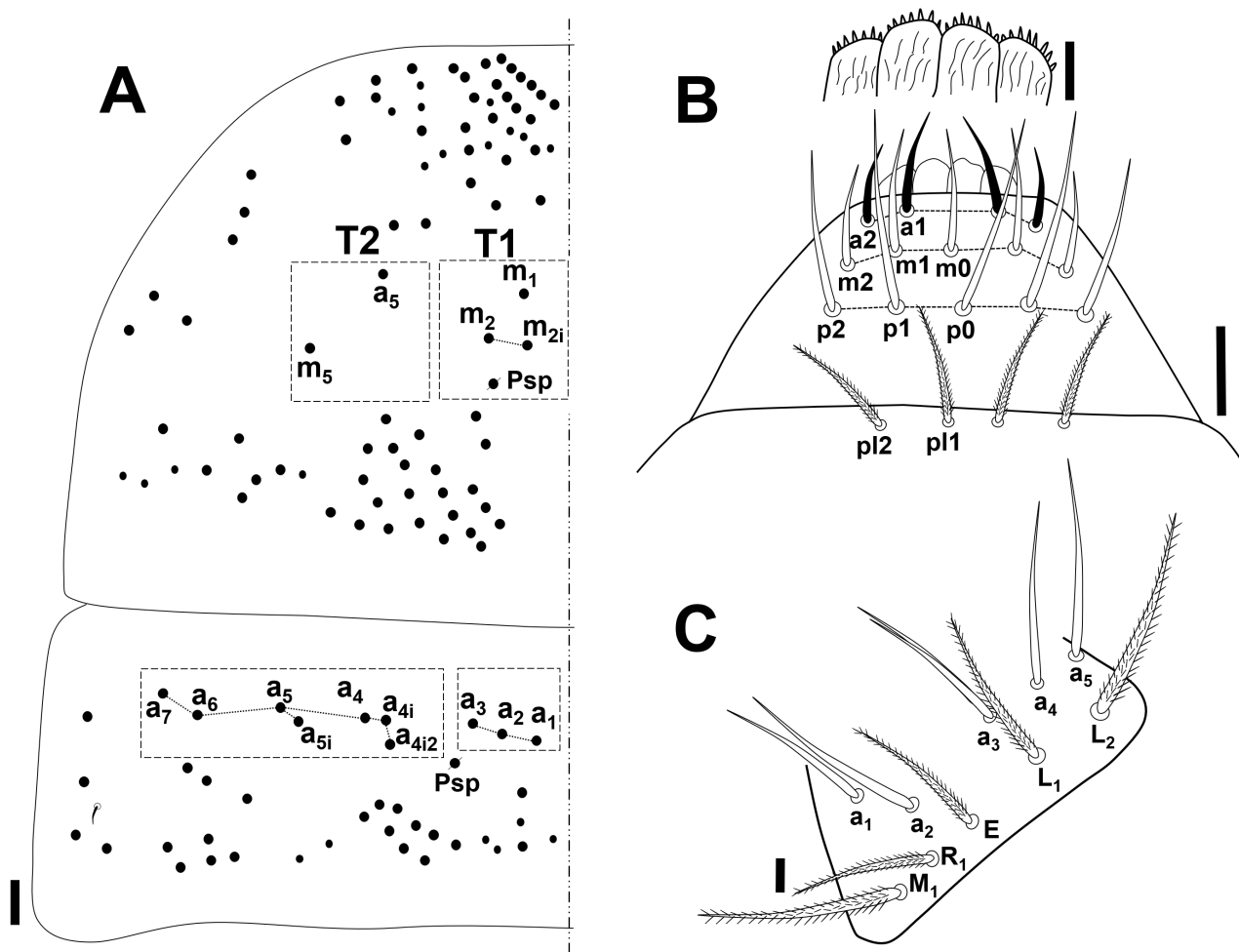


FIGURE 10. *Drepanura koytendagi* sp. nov. A, Th II–III, dorsal side—setal pattern; B, labrum with detail of its apical edge; C, labium—setal pattern of labial triangle. Scale bars: A = 0.05 mm, B–C = 0.01 mm.

Body. Abd IV:III length ratio in holotype = 3.35. Trochanteral organ with approximately 23–26 setae (Fig. 9E). Tibiotarsus not sub-segmented. Claw (Fig. 12B) with 4 inner teeth: paired at 77–79%, first unpaired at 80–83% from basis, and the last one closer than 94%; dorsal teeth present and located at the level of lateral teeth. Empodium lanceolate, with serrated external lamella. Tenent hair is clavate, half of the length of the claw. Length of manubrium and dens in holotype as 0.71 and 0.86 mm, respectively. Manubrial plate with 6 setae and 2 pseudopores (Fig. 11C). Mucro falcate with mucronal spine; area not crenulated of dens about 1.8 times the length of mucro (Fig. 12C). Simplified Mc formula: 4-1-0-2-2/3-2/2-4/0-2-1/0-2-2-2-3.

Chaetotaxy of head. Setal pattern of dorsal head as in figure 9A. H1 area with 4 Mc (An_2 , An_{3a1} , An_{3a2} , and An_3); H2 area with one Mc (A_5); H4 area with 2 Mc (S_3 and S_{4i}); H4' area with 3 Mc (S_4 , S_5 , and S_{5i}); H5 area with 2 Mc (P_{s2} and P_{s5}).

Chaetotaxy of mesothorax. Dorsal setal pattern as in figure 10A. Area T1 with 3 Mc (m_1 , m_2 , and m_{2i}); T2 with 2 Mc (a_5 and m_5).

Chaetotaxy of abdomen. Dorsal setal pattern as in figure 11A & 12A. Abd I with 10 Mc (A_1 , A_2 , A_3 , A_5 , m_{2i} , m_2 , m_3 , m_{4p} , m_4 , and m_5), Abd II area A1 with 2 Mc (a_2 and a_3), area A2 with 4 Mc (m_3 , m_{3ep} , m_{3e} , and m_{3ea}); Abd III without Mc on A3, area A4 with 2 Mc (a_2 and a_3) and one Mc on A5 (m_3), 'acc' between p_{m6} and p_6 , 'ms' interior; Abd IV without Mc on A6 area, A7 with 2 Mc (A_3 and B_3), A8 with 2 Mc (A_4 and B_4), A9 with 2 Mc (B_5 and A_5), A10 with 3 Mc (A_6 , A_{e7} and B_6).

Etymology. The new species of the genus *Drepanura* is named after the Koytendag Mountains, a mountain range in the eastern Turkmenistan, where its *locus typicus* – Promezhutochnaya Cave — is situated.

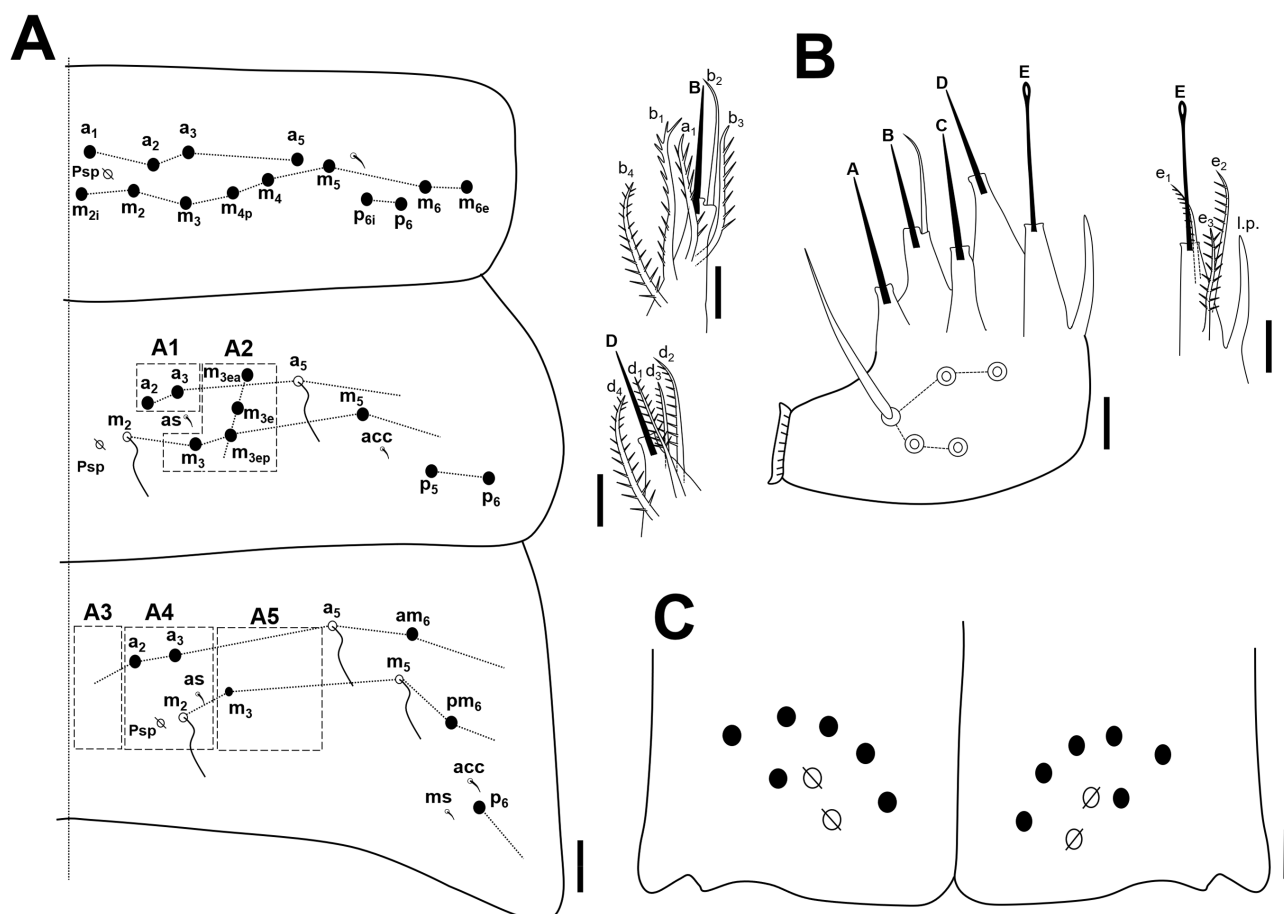


FIGURE 11. *Drepanura koytendagi* sp. nov. A, Abd I–III, dorsal side—setal pattern; B, labial palp with setae A–E on papillae and accessory setae on B, D, E; C, manubrium, ventral side—apical part of manubrial plate. Scale bars: A = 0.05 mm, B–C = 0.01 mm.

Affinity to subterranean habitats. Specimens of *D. koytendagi* sp. nov. were collected in a dark zone of the Gap-Gotan–Promezhutochnaya cave system and Kaptarkhana gypsum cave. Part of the specimens were collected on bat guano, showing its affinity to this substrate. The new species is characteristic with relatively long antennae (three times longer than head), that can be considered as indication of troglomorphy. In addition, eye G is markedly diminished compared to other eyes, thus barely visible in a light microscope, showing a tendency to eye reduction not observed in other congeners. Regarding development of body pigmentation, the pigment is absent, except antennae that are pale blue. Based on the observed character states, the new species of *Drepanura* could be assigned to the category of troglobionts.

Remarks. Among 30 species of the genus described to date (Bellinger *et al.* 1996–2025), *D. koytendagi* sp. nov. shows the closest similarity in dorsal setal pattern to *D. quadrilineata* Stebaeva, 1973 and *D. sexmaculata* (Stach, 1963). The new species differs from *D. quadrilineata* in number of Mc on H1 area: *D. quadrilineata* has 3 Mc, while the new species has 4. In H4 area, *D. quadrilineata* has 4 Mc, while the new species has 2 Mc. Furthermore, *D. quadrilineata* has 3 Mc in T1 area on Th II and 5 Mc in T2 area, whereas the new species has 4 Mc in T1 and 7 in T2 areas. Additionally, the manubrial plate of *D. quadrilineata* contains 5 ciliated setae, whereas the new species has 6 ciliated setae. *Drepanura sexmaculata* differs from the new species in number of macrosetae on head: 4 Mc in H4 area, whereas the *D. koytendagi* sp. nov. has only 2 Mc there. Moreover, it differs from the new species in number of macrosetae on Th II: 3 and 5 Mc in areas T1 and T2, respectively, while there are 4 and 7 Mc, respectively, in the new species. In addition, it possesses 5 ciliated setae on the manubrial plate, compared to 6 ciliated setae in the new species.

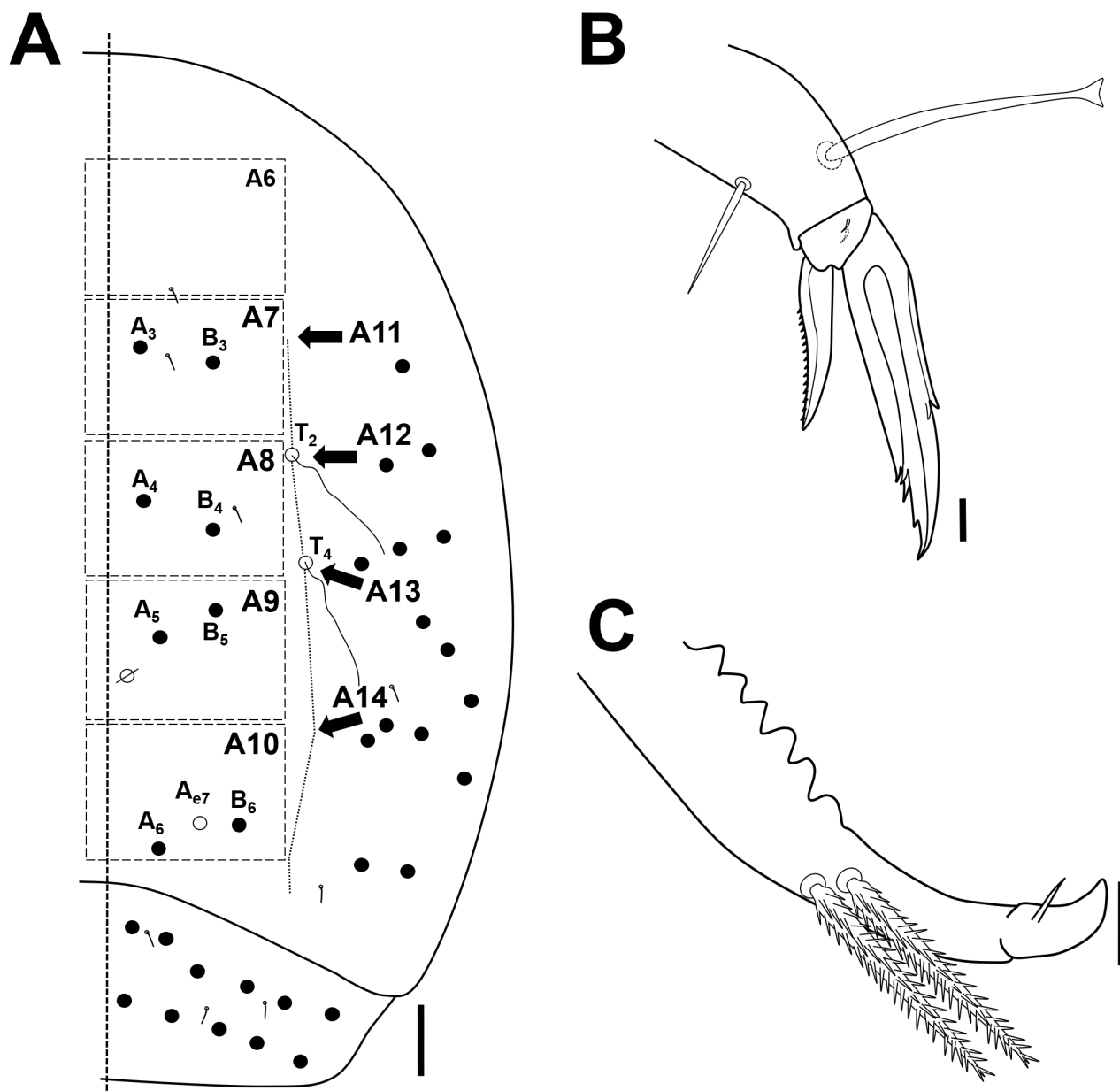


FIGURE 12. *Drepanura koytendagi* sp. nov. A, Abd IV–VI, dorsal side of, setal pattern; B, claw and empodium; C, distal area of dens, and mucro. Scale bars: A = 0.05 mm, B–C = 0.01 mm, D = 0.025 mm.

Acknowledgements

The first author was supported from the postdoctoral program of the Faculty of Science, Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Slovakia. The study was also partly supported from the Slovak Research and Development Agency, project APVV-21-0379, and from the Slovak Scientific Grant Agency, project VEGA 1/0438/22. The second author was supported by the French Federation of Speleology.

References

- Babaev, A.G. (1994) Landscapes of Turkmenistan. In: Fet, V. & Atamuradov, K.I. (Eds.), *Biogeography and Ecology of Turkmenistan. Monographiae Biologicae. Vol. 72*. Springer, Dordrecht, pp. 5–22.
https://doi.org/10.1007/978-94-011-1116-4_2

- Baquero, E., Potapov, M. & Jordana, R. (2021) New species and records of Entomobryidae and Orchesellidae (Collembola) from the East Caucasus (Russia). *Zootaxa*, 4991 (2), 247–270.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4991.2.2>
- Barra, J.A. & van Harten, A. (2009) Subclass Collembola, Order Entomobryomorpha. *Arthropod fauna of the United Arab Emirates*, 2, 43–48.
- Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. & Janssens, F. (1996–2025) Checklist of the Collembola of the World. Available from: <http://www.collembola.org> (accessed 17 July 2025)
- Börner, C. (1906) Das System der Collembolen nebst Beschreibung neuer Collembolen des Hamburger Naturhistorischen Museums. *Mitteilungen aus dem Naturhistorischen Museum in Hamburg*, 23, 147–188.
- Börner, C. (1913) Die Familien der Collembolen. *Zoologischen Anzeiger*, 41, 315–322.
- Carpenter, G.H. (1904) Collembola. *Fauna Hawaiiensis*, 3, 299–303.
- Christiansen, K. (1958) The Nearctic members of the genus *Entomobrya* (Collembola). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 118 (7), 1–545.
- Christiansen, K. & Bellinger, P.F. (1980) Family Entomobryidae. In: *The Collembola of North America North of the Rio Grande*. Grinnell College, Grinnell, Iowa, pp. 785–1042.
- Christiansen, K. & Bellinger, P.F. (1992) *Insects of Hawaii. Vol. 15. Collembola*. University of Hawaii Press, Honolulu, 445 pp.
- Cipola, N.G., Morais, J.W. & Bellini, B.C. (2014) A new species of *Seira* (Collembola: Entomobryidae: Seirini) from Northern Brazil, with the addition of new chaetotaxic characters. *Zoologia*, 31, 489–495.
<https://doi.org/10.1590/S1984-46702014000500009>
- Decu, V., Juberthie, C., Iepure, S., Gheorghiu, V. & Nazareanu, G. (2019) An overview on the subterranean fauna from Central Asia. *Ecologica Montenegrina*, 20, 168–193.
<https://doi.org/10.37828/em.2019.20.14>
- Fjellberg, A. (1999) The Labial Palp in Collembola. *Zoologischer Anzeiger*, 237, 309–330.
- Folsom, J.W. (1924) New species of Collembola from New York State. *American Museum Novitates*, 108, 1–12.
- Gisin, H. (1967) Espèces nouvelles et lignées évolutives de *Pseudosinella* endogés. *Memórias e Estudos do Museu Zoológico da Universidade de Coimbra*, 301, 5–25.
- Jordana, R. (2012) Capbryinae and Entomobryini. In: Dunger, W. & Burkhardt, U. (Eds.), *Synopses on Palearctic Collembola. Soil Organisms*, 84 (1), pp. 1–391.
- Jordana, R. & Baquero, E. (2005) A proposal of characters for taxonomic identification of *Entomobrya* species (Collembola, Entomobryomorpha), with description of a new species. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz*, 76 (2), 117–134.
- Jordana, R., Potapov, M. & Baquero, E. (2011) New species of Entomobryini from Russia and Armenia (Collembola, Entomobryomorpha). *Soil Organisms*, 83 (2), 221–248.
- Kaprus', I.I. & Szeptycki, A. (1992) A new species of the genus *Drepanura* (Collembola, Entomobryidae) from the South Siberia. *Zoologicheskij Zhurnal*, 71 (11), 143–146. [in Russian]
- Khadim, N. & Khadim, A. (2024) Importance of Turkmenistan in the Central Asian region: a geo-strategic analysis. *Annals of Human and Social Sciences*, 5 (4), 165–173.
[https://doi.org/10.35484/ahss.2024\(5-IV\)17](https://doi.org/10.35484/ahss.2024(5-IV)17)
- Loksa, I. & Bogojević, J. (1970) Einige interessante Collembolen-Arten aus der Sandwüste von Deliblat, Jugoslawien. *Opuscula Zoologica Budapest*, 10, 125–142.
- Lubbock, J. (1870) Notes on the Thysanura. Part III. *Transactions of the Linnean Society of London*, 26, 295–304.
<https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1968.tb00508.x>
- Ma, Y., Chun, Z. & Greenslade, P. (2015) The genus *Drepanura* (Collembola: Entomobryidae) in Australia: descriptions of two new species and redescriptions of five known species. *Zootaxa*, 4058 (3), 373–387.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4058.3.5>
- Martynova, E.F. (1970) New species of Collembola from mountain regions of Kirghizia. *Zoologicheskii Zhurnal, Moscow*, 79 (12), 1876–1879. [in Russian]
- Martynova, E.F. (1971) New species of springtails (Collembola) from mountain and steppe regions of the USSR. *Revue d'Entomologie de l'URSS*, 50 (3), 598–611. [in Russian]
- Martynova, E.E. & Cikatinov, W.I. (1968) Materials for the fauna of Collembola of the high mountain region of Central Asia. *Izvestiya Akademii Nauk Tadzhikskoi SSR, Biologicheskoe Nauki*, 1 (30), 62–76.
- Maynard, E.A. (1951) *A Monograph of the Collembola or Springtail Insects of New York State*. Comstock Publishing Company, Inc., Ithaca, New York, 339 pp.
- Mills, H.B. (1931) New Nearctic Collembola. *American Museum Novitates*, 464, 1–11.
- Nosek, J. (1964) Einige neue Collembolenarten aus Tadschikistan. *Zoologischer Anzeiger*, 172 (2), 140–146.
- Packard, A.S. (1873) Synopsis of the Thysanura of Essex County, Mass., with descriptions of a few extralimital forms [Collembola included]. *Fifth Annual Report of the Peabody Academy of Science for the year 1872*, 8 February, 1873, 23–51.
- Peyrouse, S. (2012) *Turkmenistan: Strategies of Power, Dilemmas of Development*. M.E. Sharpe Inc, London.
- Rusek, J. (1975) Eine Präparationstechnik für Springschwänze und ähnliche Gliederfüßer. *Mikrokosmos*, 12, 376–381.
- Rusek, J. (1981) Some Collembola from Iraq. *Věstník Československé Společnosti Zoologické*, 45 (1), 63–80.

- Salmon, J.T. (1941) The collembolan fauna of New Zealand, including a discussion of its distribution and affinities. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, 70, 282–431.
- Schäffer, C. (1896) Die Collembola der Umgebung von Hamburg und benachbarter Gebiete. *Mitteilungen aus dem Naturhistorischen Museum in Hamburg*, 13, 149–216.
- Schött, H. (1891) Beiträge zur Kenntnis der Kalifornischer Collembola. *Bihang Till Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 17, 5 (8), 1–25.
- Schött, H. (1917) Results of Dr. E. Mjöberg's Swedish scientific expeditions to Australia, 1910–1913. No. 15, Collembola. *Arkiv för Zoologi*, 11 (8), 1–60.
- Sendra, A., Sket, B. & Stoev, P. (2017) A striking new genus and species of troglobitic Campodeidae (Diplura) from Central Asia. *Subterranean Biology*, 23, 47–68.
<https://doi.org/10.3897/subtbiol.23.14631>
- Sendra, A., Sánchez-García, A., Selfa, J., Milko, D.A. & Ferreira, R.L. (2021) Campodeidae (Hexapoda: Diplura) from Kyrgyzstan, Central Asia, with the description of a remarkable new genus and species. *European Journal of Taxonomy*, 782 (1), 1–20.
<https://doi.org/10.5852/ejt.2021.782.1585>
- Soto-Adames, F.N. (2008) Postembryonic development of the dorsal chaetotaxy in *Seira dowlingi* (Collembola, Entomobryidae); with and analysis of the diagnostic and phylogenetic significance of primary chaetotaxy in *Seira*. *Zootaxa*, 1683 (1), 1–31.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.1683.1.1>
- Stach, J. (1963) *The Apterygotan fauna of Poland in relation to the world-fauna of this group of insects. Tribe: Entomobryini*. Państwowe Wydawn [Naukowe], Kraków, 126 pp.
- Stebaeva, S.K. (1971) New species of springtails (Collembola) from Tuva and South-Eastern Altai. In: Cherepanov, A.I. (Ed.), *New and Little-Known Species of Siberian Fauna. Novosibirsk, Nauka*, 5, 129–136. [in Russian]
- Szeptycki, A. (1979) *Chaetotaxy of the Entomobryidae and its phylogenetical significance. Morpho-systematic studies on Collembola. IV*. Polska Akademia Nauk, Warsaw, 219 pp.
- Wahlgren, E. (1899) On some Apterygogenea collected in the Volga-delta and in Transcaspia by Dr. E. Lönnberg. *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*, 8, 847–850.
- Womersley, H. (1934) A preliminary account of the Collembola-Arthropleona of Australian. Part II. Superfamily Entomobryoidea. *Proceedings of the Royal of Entomological Society of South Australia*, 58, 86–138.
- Yosii, R. (1949) Einige Collembolen aus Aussenmongolei. *Transactions of the Kansai Entomological Society*, 14, 33–34.
- Zhang, F. & Deharveng, L. (2015) Systematic revision of Entomobryidae (Collembola) by integrating molecular and new morphological evidence. *Zoologica Scripta*, 44 (3), 298–311.
<https://doi.org/10.1111/zsc.12100>