



HAL
open science

Le fonctionnement hydrogéologique du massif de Migaria, Caucase, Géorgie

Nathalie Vanara, Gorgeon Jean-Michel

► **To cite this version:**

Nathalie Vanara, Gorgeon Jean-Michel. Le fonctionnement hydrogéologique du massif de Migaria, Caucase, Géorgie. Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, 2008, 7, pp.113-124. hal-04704116

HAL Id: hal-04704116

<https://hal.science/hal-04704116v1>

Submitted on 20 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

LE FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DU MASSIF DE MIGARIA CAUCASE, GÉORGIE

HYDROGEOLOGIC STUDIES OF MIGARIA MOUNTAINS CAUCASUS, GEORGIA

NATHALIE VANARA ¹, JEAN-MICHEL GORGEON ² et l'équipe spéléologique de MIGARIA

¹ Université Paris I - Panthéon-Sorbonne et C.N.R.S. - U.M.R. 5185 ADES/DyMSET - Bordeaux

² 8 rue Joseph-Roumanille, 87170 Isle

Contact : nathalie.vanara@free.fr

RÉSUMÉ

Plusieurs missions françaises se sont succédées dans le massif de Migaria (Géorgie) pour tenter de préciser les connaissances laissées par les organismes de l'époque soviétique. Le massif est situé sur la retombée sud de la partie occidentale du Grand Caucase. Le fonctionnement hydrologique est caractérisé par une forte variabilité des paramètres physiques de l'eau et un fonctionnement «en dilution» des paramètres chimiques. Ces caractéristiques s'expliquent par la structure (structures monoclinales occidentale et orientale encadrant un synclinal Central et un anticlinal Méridional), par le climat (pluies abondantes favorisées par la proximité de la mer Noire) et par la géomorphologie (karst évolué de moyenne montagne). La coloration au gouffre du Velours prouve que la plus grosse émergence du massif (Ndeidzakhi) est alimentée par le synclinal Central.

MOTS-CLÉS : KARST, MOYENNE MONTAGNE, HYDROGÉOLOGIE, PARAMÈTRES DES EAUX, COLORATION, MIGARIA, CAUCASE, GÉORGIE.

ABSTRACT

The last few years, several French scientific expeditions went to Migaria mountains (Georgia, Caucasus) to help define more accurately the geographical knowledge eventually inherited from the Soviet organization. The Migaria mountains are located on the western south face of Caucasus where hydrogeology is mostly under climate influence. Pouring rains coming from the Black sea meet the strongly marked relief: a central syncline bordered by western and eastern monoclines and by an anticline at south. The geomorphology is characterized by advanced karst in mid-range mountain. We noted the large variability of the physical and chemical water parameters with their dilution operating conditions. Coloration in the Velours swallowhole shows that the biggest emergence of the mountain (Ndeidzakhi) is under command of the Central syncline.

KEY-WORDS: KARST, MID-RANGE MOUNTAIN, HYDROGEOLOGY, WATER PARAMETERS, COLORATION, MIGARIA, CAUCASUS, GEORGIA.

INTRODUCTION - UN MASSIF SITUÉ SUR LE VERSANT OCCIDENTAL SUD DU GRAND CAUCASE

Le massif de Migaria fait partie de la Mingrémie (Géorgie). Il est situé sur la retombée sud de la partie occidentale du Grand Caucase (Figure 1), barrière montagneuse difficilement franchissable avec ses sommets oscillant entre 3 500 et 5 642 m (Elbrouz). Sa superficie, de 71 km² environ, est cernée par de profondes coupures qui l'isolent des autres régions (Figure 2) : au nord, la vallée de la Khobi encaissée de 1 000 m ; à l'ouest, la percée cataclinale de cette même rivière ; à l'est, la cluse de la Tekhuri ; au sud, une large dépression empruntée par l'Otkhkhouri, affluent de la Khobi (dépressions transcaucasiennes). Plus long que large, le Migaria possède deux flancs dissymétriques (Figure 3). Le flanc nord-est présente des escarpements puissants de plusieurs dizaines de mètres atteignant les altitudes 1 850 m (Photo 1) et 2 025 m (point culminant) de part et d'autre du col Principal. Le flanc sud, qui culmine à 1 324 m, présente à mi-pente un replat bien marqué (sommets 683 m, 786 m, 1 082 m et 1 192 m).

L'expédition karsto-spéléologique franco-géorgienne 2004 s'était donné pour but l'étude du fonctionnement hydrogéologique du massif (Gorgeon *et al.*, 2006). Le présent article se veut donc la synthèse des résultats obtenus sachant que les interprétations proposées tiennent également compte des acquis des expéditions 1998 et 2001 (inventaire et topographie des réseaux) (Spéleo-clubs de la Haute-Vienne et de Saint-Herblain, 1998 ; Ligue spéléologique du Limousin, 2001).

1 - Une montagne calcaire sous l'influence climatique de la mer Noire

Le climat de la partie sud-ouest du Grand Caucase, est défini comme une « frange étroite de climat chinois et de forêt humide » par Birot et Dresch (1956). Le massif est protégé par la barrière élevée du Grand Caucase des masses d'air froid qui stagnent au nord sur les plaines et les plateaux précaucasiens. D'autre part, il bénéficie des perturbations d'ouest régénérées par leur passage au-dessus de la mer Noire (active cyclogénèse) et canalisées par le versant méridional du Grand Caucase. Le massif ne manque jamais d'eau, même pendant l'été, car l'activité orageuse déclenche alors des averses brèves, mais d'une grande intensité. Les étés sont chauds, mais sans excès ; les hivers modérément froids sont caractérisés par des chutes abondantes de neige souvent lourde.

Le versant méridional du Grand Caucase constitue un système de chaînes de flanc composé de massifs séparés par d'étroites vallées. D'épaisses couches sédimentaires jurassiques, crétacées et paléogènes (calcaire, flysch et roches volcaniques) s'y ordonnent en nappes de charriage, plis serrés et chevauchements alternant avec des dépressions de type graben, conséquence de la subduction de la microplaque transcaucasienne (Figure 4). Les expéditions, menées par des scientifiques de l'ex U.R.S.S., avaient révélé le potentiel spéléologique de ces régions (Tintilozov, 1976),

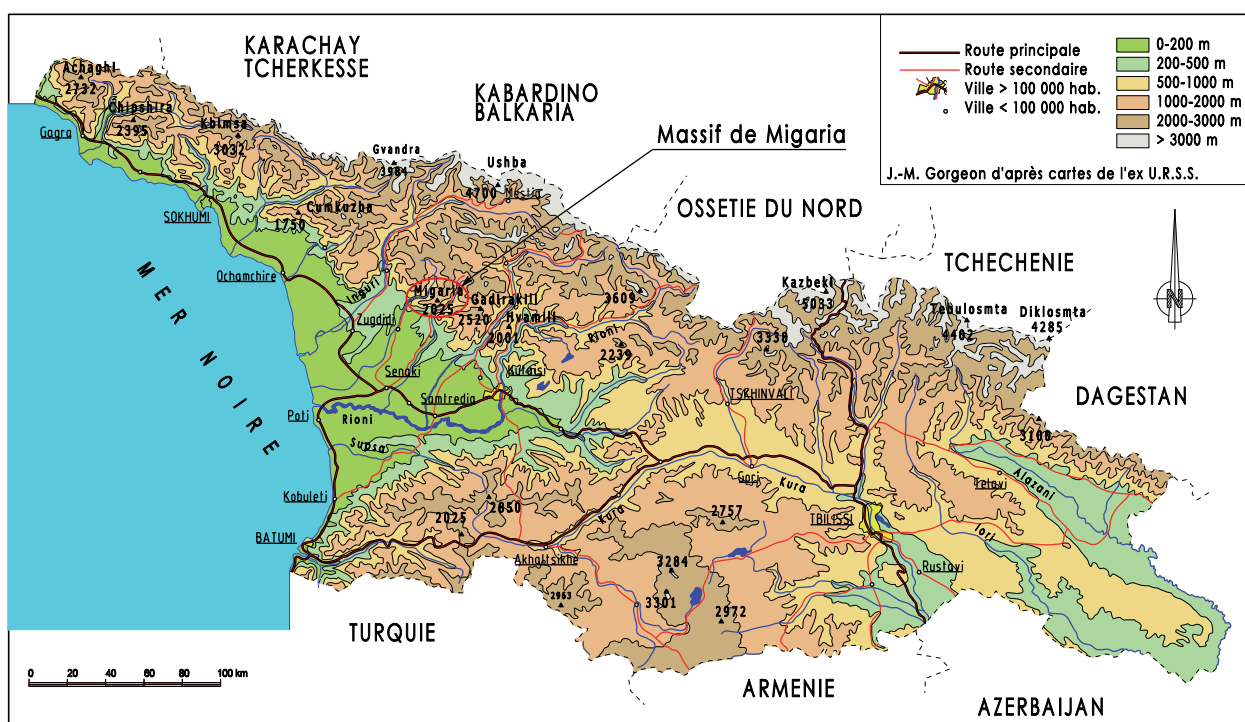


Figure 1- Carte isométrique de la Géorgie. Le massif de Migaria se situe sur la retombée sud de la partie occidentale du Grand Caucase (J.-M. Gorgeon, d'après des cartes de l'ex U.R.S.S.).

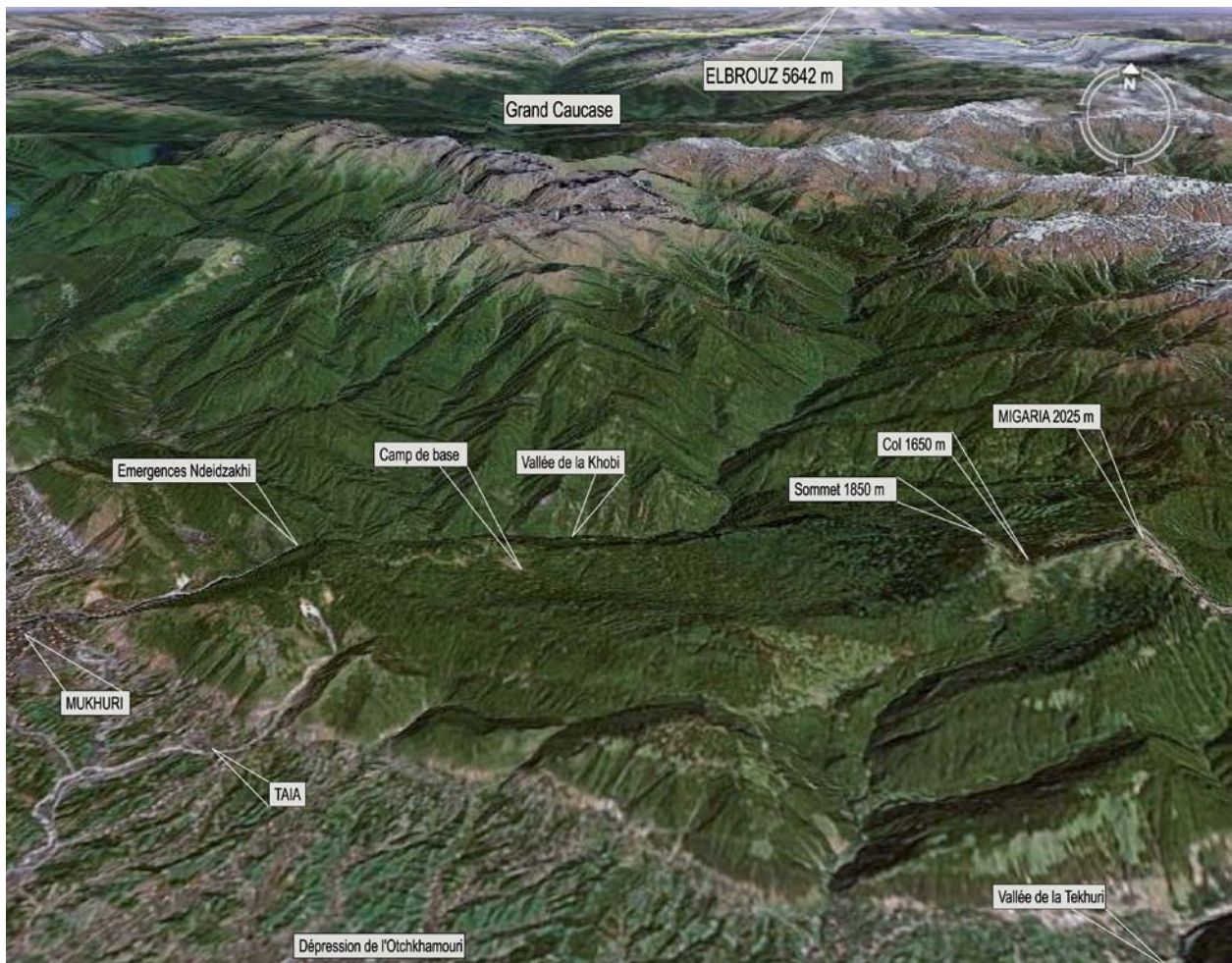


Figure 2 - Image satellitaire de Migaria. Le massif culmine à 2 025 m (Google Earth téléchargeable sur <http://earth.google.fr/>; repère au centre de l'image : 42°37'31.15"N / 42°16'48.63"E ; consulté le 26/02/2008).

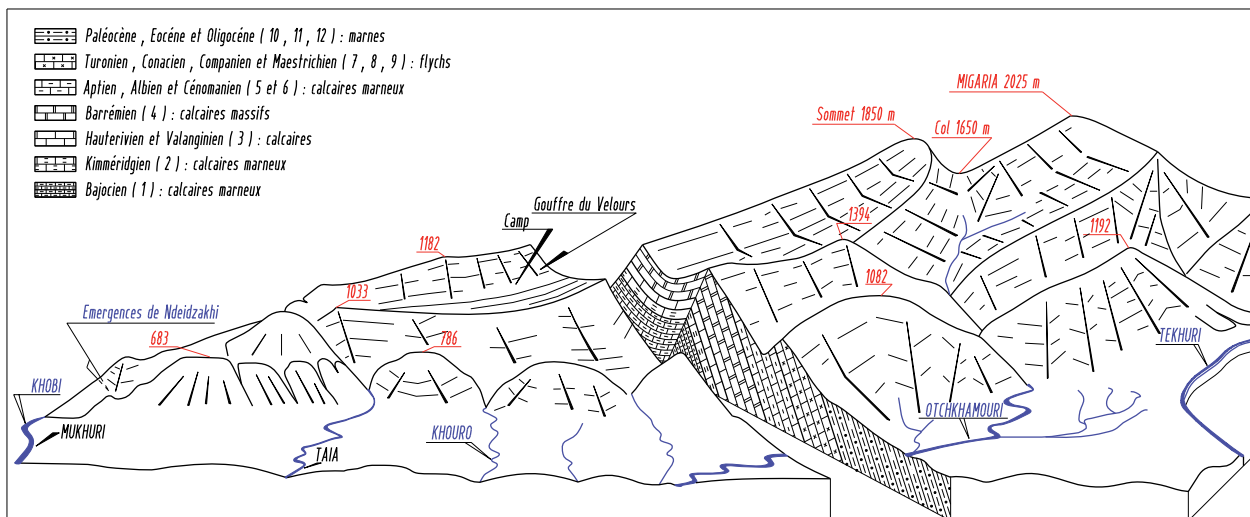


Figure 3 - Bloc diagramme du massif de Migaria (J.-M. Gorgeon et N. Vanara d'après Z.-K. Tintilozov ; figure modifiée, cf. figure 6 pour les numéros correspondant aux âges géologiques). Le synclinal Central à cœur de calcaires marneux aptiens, albiens et cénomaniens conditionne l'existence des grands réseaux souterrains.

notamment dans les étages du Crétacé inférieur, dont les couches riches en calcaire se prêtent bien à la karstification. Les étages jurassique (marnes et marno-calcaires), crétacé supérieur (flyschs), paléogène et néogène

(marnes) présentent, spéléologiquement parlant, peu d'intérêt, même si quelques cavités ont pu y être recensées (Figure 5 et Tableau 1).

Le karst du Migaria n'a pas pu être étudié dans son



Photo 1 - Le sommet 1850 m armé par les calcaires massifs barrémiens (cliché J. Auvert).

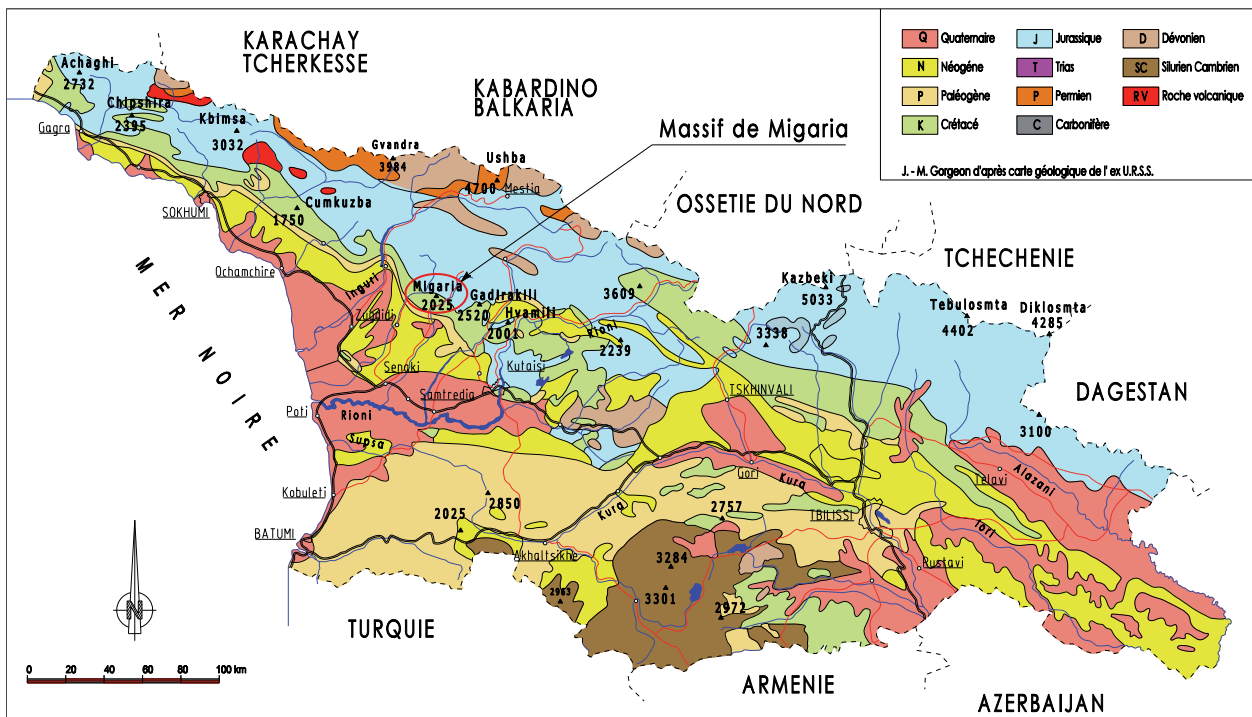


Figure 4 - Carte géologique de la Géorgie (J.-M. Gorgeon d'après la carte géologique de l'ex U.R.S.S.).

ensemble. Seules les zones les plus accessibles ont été privilégiées lors des prospections. Ces dernières ont mis en évidence l'existence de zones caractéristiques :

- les «entrées» de systèmes situés aux altitudes hautes et moyennes sous la forme de pertes dif-

fuses dans les parties ouest et est et de pertes concentrées au cœur du massif ;

- les «sorties» du système situées aux altitudes basses sous la forme de sources au contact des couches imperméables sous-jacentes et d'émergences localisées au niveau de base local.

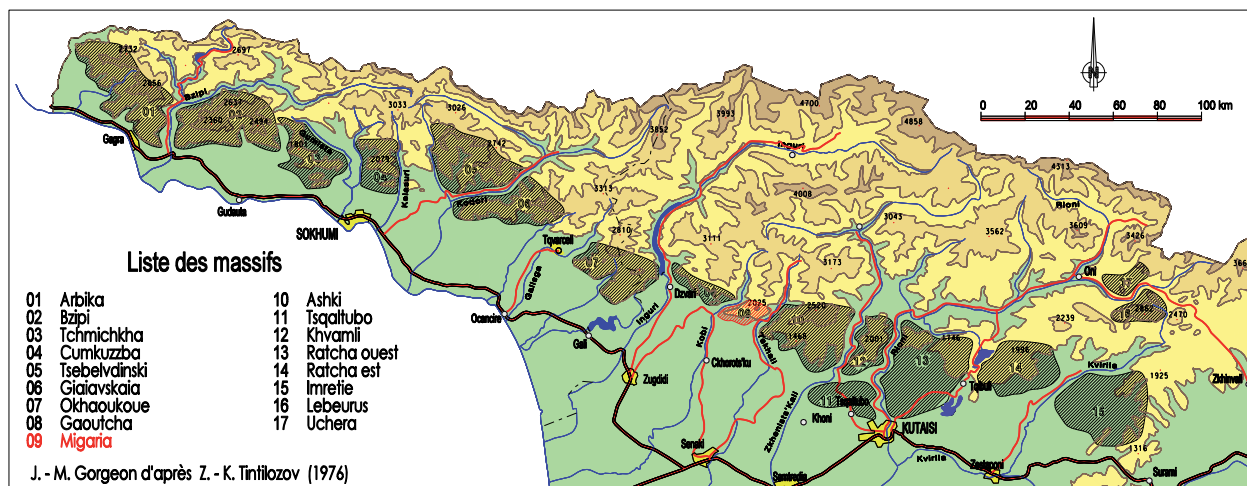


Figure 5 - Géorgie - Abkhazie, carte des principaux massifs karstiques (J.-M. Gorgeon d'après Z.-K. Tintillozov, 1976). Migaria possède une superficie de 71 km².

Nom du massif	Région	Altitude max. (m)	Superficie (km ²)	Gouffres en 1976	Grottes en 1976
01 Arbika	Abkhazie	2732	542	28	15
02 Bzipi	Abkhazie	2395	556	13	20
03 Tchmichkha	Abkhazie	1801	210	7	22
04 Cumkuzbza	Abkhazie	2079	79	3	13
05 Tselvdinski	Abkhazie	2336	197	42	7
06 Giaivskaia	Abkhazie	1200	189	4	4
07 Okhaoukoue	Abkhazie	2083	139	5	5
08 Gaoutcha	Géorgie	2037	74	4	4
09 Migaria	Géorgie	2025	71		
10 Ashi	Géorgie	2500	459	36	39
11 Tsqaltubo	Géorgie	600	249	5	23
12 Khvamli	Géorgie	2001	61	2	10
13 Ratcha ouest	Géorgie	1746	594	5	18
14 Ratcha est	Géorgie	1996			
15 Haute Imrétie	Géorgie	1065	235		72
16 Lebeuris	Géorgie	2862			
17 Uchera	Géorgie	2000	8	5	14

Tableau 1 - Les massifs géorgiens et abkhazes : altitudes, superficies et inventaire des cavités (traduit de Tintillozov, 1976).

II - FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE

1 - Les « entrées » du système karstique

a - Les pertes diffuses des parties ouest et est

Les extrémités ouest et est de Migaria correspondent à une structure dominée par une organisation monoclinale des couches (Figure 6) :

• La structure monoclinale occidentale

La structure – relativement simple dans la partie occidentale du massif – est observable dans la vallée de la Khobi. La rivière, orientée ici NE/SO, recoupe les strates monoclinales de calcaires et de calcaires marneux allant du Dogger (Bajocien) au Néogène, inclinées vers le sud de 35° à 70°.

• La structure orientale

On retrouve dans la partie est du massif, la succession des strates monoclinales précédemment décrites. Les strates inclinées vers le sud, présentent un pendage moyen dans les calcaires barrémiens (25 à 30°) ; ce pendage s'accuse dans les calcaires albiens et céno maniens (50 à 60°). Les calcaires barrémiens culminent à 2 025 m et dominant par d'importants escarpements un affluent de la Tekhuri. A l'extrême est, un pli anticlinal à cœur jurassique – visible dans le fond de la vallée – vient compliquer la structure.

Les extrémités ouest et est du massif sont difficilement accessibles pour trois raisons principales.

- Sur les hautes surfaces, le sous-bois de laurier

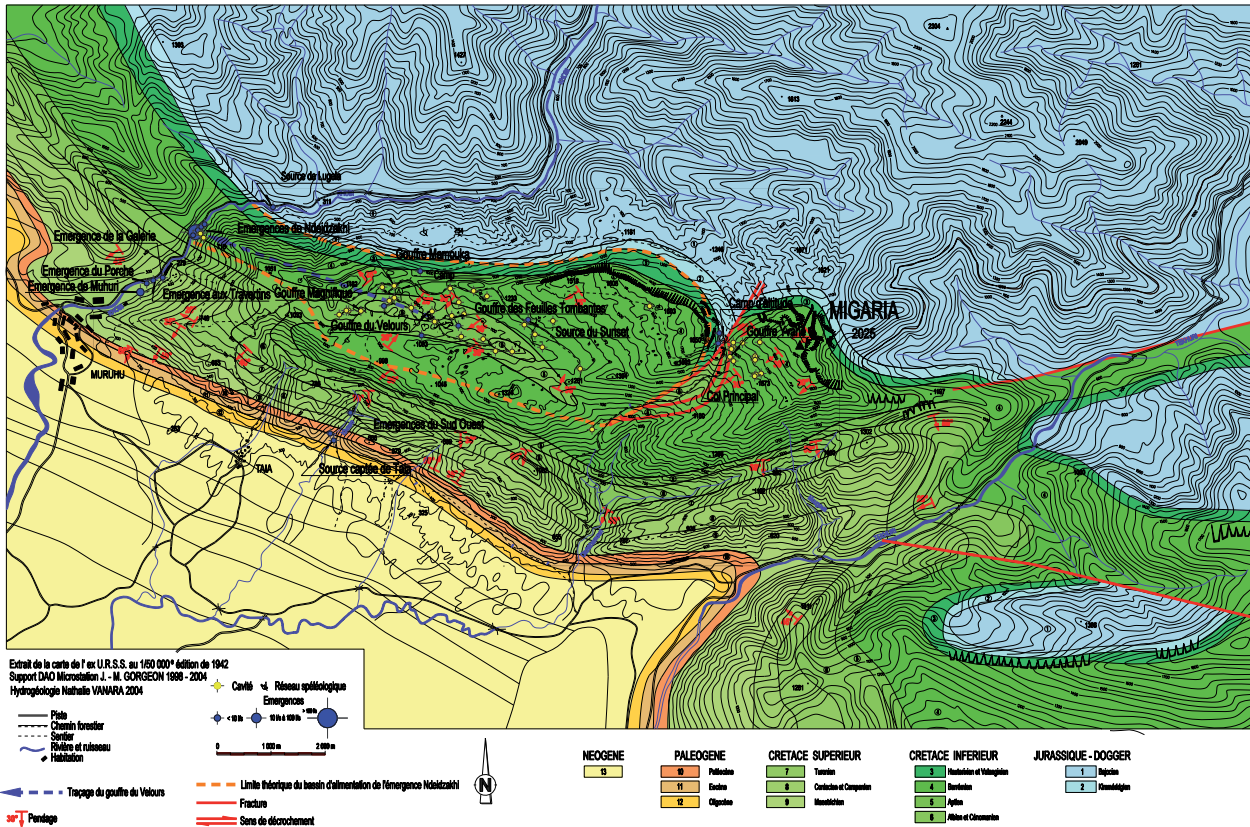


Figure 6 - Carte hydrogéologique du massif de Migaria. Il présente un contraste entre les hautes surfaces quasiment sans eau et les vallées où jaillissent des émergences puissantes (J.-M. Gorgeon et N. Vanara, fond géologique d'après la carte de l'ex U.R.S.S. au 1/50 000e, édition de 1942).

impénétrable limite la prospection aux zones proches des sentiers ou des pistes.

- Sur les versants forestiers, le lacis de racines maintient efficacement un humus qui masque bien souvent les roches sous-jacentes.
- L'Albien et le Cénomaniens, riches en marnes, sont recouverts d'une épaisse couche d'altérites qui masque le substrat. La zone des estives, située à l'est du col Principal, s'est révélée la plus favorable aux prospections. Elle présente des lapiés émoussés et des dolines en baquet alignées sur des fractures majeures. Certaines passées plus riches en dolomie expliquent la mise en place de reliefs ruiniformes dominant des dépressions aux rebords escarpés. Les gouffres (H001 à 012), signalés par les bergers, présentent tous un puits unique et étroit colmaté par des blocs. Le plus important, gouffre Yvané, atteint la profondeur de 50 m.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer l'absence de grands réseaux. Les calcaires profondément fracturés par l'intense activité tectonique passée et actuelle permettent une infiltration efficace des eaux sous forme diffuse (photo 2), mais sans permettre la constitution d'importantes rivières souterraines à proximité de la surface qui seules pourraient déblayer efficacement les blocs qui obstruent les puits.

On doit aussi retenir l'existence d'alternances de gel-dégel durant l'hiver, d'autant plus efficaces que les roches souvent broyées ne demandent qu'à se déliter sous forme de blocaille que l'on retrouve à la base des puits d'entrée.

b - Les pertes concentrées du cœur du massif

Le cœur du massif présente une structure compliquée par l'existence de plissements et d'un grand accident décrochant (Figure 6).

- **Le synclinal Central** : cette structure symétrique, d'orientation ONO/ESE, présente un flanc nord faiblement incliné vers le sud (25 à 30°) et un flanc sud incliné vers le nord (30°). Sur la bordure nord, les terrains faiblement redressés sont armés par les calcaires résistants de la série barrémienne. Dans la charnière synclinale affleurent les calcaires marneux aptiens (entrées des réseaux souterrains des Feuilles Tombantes, du Magnifique, de Mamouka et du Velours). Le synclinal atteint sa largeur maximale entre les longitudes 278° et 280°. Le synclinal Central est semi-perché : au nord, il domine par de puissants escarpements la vallée de la Khobi ; au sud, il est dominé par l'anticlinal Méridional.

- **L'anticlinal Méridional** : l'anticlinal Méridional est un pli d'orientation ONO/ESE dont la voûte est



Photo 2 - Champ de dolines (infiltration diffuse) dans l'étage subalpin (cliché J. Auvert).

abaissé).

Au cœur du massif, seule la zone du synclinal Central s'est révélée prometteuse pour les explorations spéléologiques en raison d'un contexte géologique particulièrement favorable. Les gouffres s'ouvrent au sein d'un lapiaz forestier aux formes émoussées et souvent masquées par les sols bruns forestiers. Les eaux guidées par le pendage des couches semi-imperméables des calcaires marneux aptiens se concentrent dans l'axe du synclinal où des fractures majeures leur permettent d'atteindre les couches des calcaires barrémiens. Cette

armée par les calcaires barrémiens. Son flanc nord, dont le pendage est de 30°, domine le synclinal Central. Son flanc sud est échancré par des ruz. Ces torrents s'encaissent facilement dans les calcaires marneux albiens et cénomaniens (pendage de 50° à 70°), tandis que les calcaires turoniens (pendage 30° à 70°), plus résistants, forment une première ligne de reliefs (sommets 786 m et 1 082 m).

- **L'accident décrochant du col Principal** : à la hauteur du col Principal, un accident majeur nord-ouest/sud-est vient perturber la structure. Cette faille à décrochement senestre possède un regard orienté au sud-est. La terminaison méridionale de cette faille est nivelée. La terminaison septentrionale, située à la latitude du sommet 1 850 m, détermine la mise en place d'un escarpement de ligne de faille rajeunie directe : l'érosion différentielle exploite ainsi la résistance moindre des calcaires albiens et cénomaniens (compartiment

concentration des écoulements explique l'alignement des dolines-pertes livrant accès à des réseaux dans l'axe du synclinal : gouffres du Velours (-250 m/1 500 m), Magnifique (-300 m/2 000 m ; Photos 3 et 4) et des Feuilles-Tombantes (-300 m/2 500 m). Ces gouffres actifs sont de véritables canyons souterrains parcourus par d'importantes rivières lors des épisodes pluvieux. Les galeries étroites présentent des successions de puits et de ressauts aux parois polies par les eaux (exemple du Velours, Figure 7). Cette morphologie « alpine » des réseaux s'explique par un fort et rapide encaissement des vallées bordières (abaissement des niveaux de base). La dernière phase de soulèvement du Caucase est récente, puisque l'ensemble de la déformation quaternaire atteindrait verticalement 3 km. Cette tectonique contemporaine a pour conséquence la mise en place de failles actives jalonnées de sources thermales et minérales (source de Lugela, vallée de la Khobi).

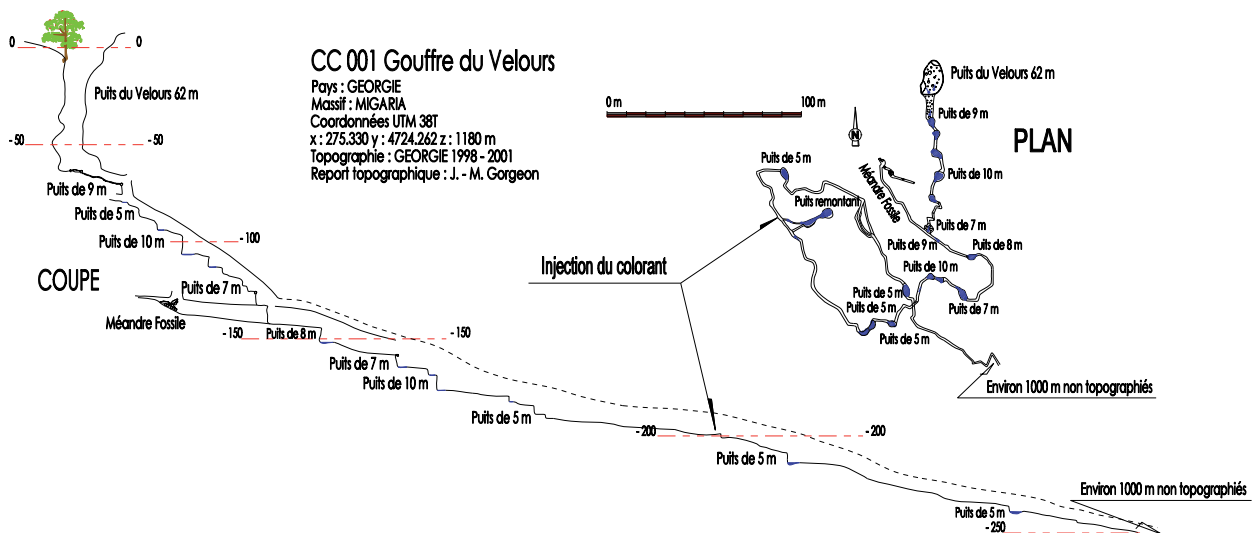


Figure 7 - Topographie du gouffre du Velours. Le colorant a été injecté dans la rivière souterraine à -190 m (1 090 m).

2 - Les « sorties » du système karstique

a - Des ressources en eau inégalement réparties

En raison de l'infiltration immédiate des eaux dans le substrat carbonaté, le massif du Migaria présente un contraste saisissant entre les hautes surfaces quasiment sans eau, même si l'humidité du sol est appréciable et les vallées où jaillissent des émergences puissantes.

- Les sources d'altitude sont donc peu nombreuses (sept ont été inventoriées pour une superficie explorée d'environ 35 km², Figure 6). Elles se situent soit au contact des altérites et des calcaires (les débits sont faibles et les eaux se perdent rapidement, comme à la source du Sunset par exemple), soit à la faveur d'une strate argileuse permettant même la constitution de ruisseaux pérennes (sources inférieure et supérieure du Col).

- Les émergences jaillissent en rive gauche de la Khobi (Ndeidzakhi n° 1) ou à une altitude légèrement supérieure (un ru permet alors aux écoulements de rejoindre le niveau de base local, comme cela est le cas pour les émergences du Sud-Ouest).

Une carte hydrogéologique de synthèse a été réalisée ; elle indique le fond géologique, les grandes émergences de vallée et les petites sources d'altitude inventoriées, le traçage et les rivières souterraines explorées (Figure 6). Les conditions de la mission (moins de trois semaines) et le choix d'un matériel de terrain simple et peu coûteux ont néanmoins permis d'effectuer des mesures ponctuelles des principaux paramètres physiques et chimiques des eaux de source ; ces données sont interprétables, mais une véritable compréhension du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du massif exigerait des campagnes de mesures en continu sur des périodes suffisantes.

b - Analyse des paramètres physiques et chimiques des sources

Les observations réalisées en surface et sous terre prouvent la rapidité des temps de réponse après précipitations, ce qui paraît logique dans un karst évolué de montagne. Ainsi, les rivières souterraines et les sources du Migaria présentent une forte variabilité des débits. Les réponses aux précipitations sont rapides (quelques heures pour les émergences principales) ; les réserves dynamiques paraissent faibles en général. Le régime des eaux souterraines dépend surtout des pluies durant la saison chaude et de la neige en saison froide : orages estivaux et fonte de printemps viennent grossir les rivières.

La période d'observation correspondant à l'été, les températures des sources sont vraisemblablement les plus élevées observables sur l'année. Les sources d'altitude sont fraîches (source du Camp d'altitude : 8,5 °C à 1 589 m), sauf celles possédant un temps de transfert souterrain peu important (source du Sunset :

12,2 °C à 1 210 m). En effet, le passage sous terre joue un rôle important de « régulateur » ; durant son trajet souterrain, la température de l'eau tend à se rapprocher de celle de la roche (température des rivières souterraines : environ 8 °C). Par conséquent, durant l'été les eaux sont restituées à une température inférieure à celle qu'elles possédaient au moment de leur infiltration. Les émergences basses débitent aussi des eaux fraîches car une partie de leur alimentation provient de l'infiltration d'eau froide d'altitude (Ndeidzakhi n° 1 : 10 °C). Les orages estivaux peuvent contribuer à faire augmenter les températures en raison de l'arrivée brutale d'eau tiède d'infiltration (0,7 °C pour la source du Camp suite aux épisodes pluvieux des 2 et 3 août 2005).

La turbidité des émergences du Migaria est modérée. Les émergences présentent fréquemment après les pluies des eaux laiteuses (argiles colloïdales en suspension), mais rarement marron, car le massif reste un milieu relativement protégé grâce à l'existence d'une importante couverture végétale (forêt ou prairie). Les pistes représentent pour l'instant la cause la plus importante de ravinement des altérites superficielles : à chaque orage, elles se transforment en véritables lits de torrents dont les eaux boueuses (>10 mg/l de matières en suspension) vont se perdre dans les dolines proches.

Les paramètres chimiques des sources qui ont été mesurés sont le pH, la conductivité (µS/cm), la dureté totale (TH), les teneurs en cations calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺).

Les mesures montrent un pH moyen allant de 7,44 (Ndeidzakhi n° 1) à 7,92 (source supérieure du Col).

La conductivité exprimée en micro-siemens par cm (µS/cm) rapportée à 25 °C peut être considérée comme représentative de la minéralisation totale de l'eau. Elle est conditionnée par la solubilité des roches de l'aquifère, l'agressivité de l'eau et le temps de contact roche/eau. La conductivité varie de 210 à 444 µS/cm. Les observations réalisées à la source du Camp montrent qu'il existe une relation entre les événements hydroclimatiques et les variations de conductivité : de 366 à 210 µS/cm à la source du Camp suite aux épisodes pluvieux des 2 et 3 août 2005. Les valeurs plus importantes en période d'étiage qu'en période de recharge prouvent qu'il s'agit d'une évolution caractéristique en « dilution », comme celle que l'on observe dans la plupart des karsts de montagne (Vanara, 2000). Les hautes eaux correspondent à l'arrivée d'eau peu minéralisée en raison de son transit rapide au sein de l'aquifère.

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas, le TH est surtout dû aux ions calcium et magnésium, auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium. Il s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO₃ ou mg/l de CaCO₃ équivalent. La dureté totale observée présente des valeurs faibles allant de 82 à 170 mg/l. Le TH fonctionne « en



Photo 3 - Puits de 8 m (-20 m) dans le réseau Magnifique (cliché J.-M. Gorgeon).

dilution» ; c'est pourquoi son évolution dépend principalement du débit. En période de basses eaux, le TH augmente ; en période de hautes eaux, la dureté baisse (de 170 à 93 mg/l à la source du Camp suite aux épisodes pluvieux du 2 et 3 août 2005).

Les ions calcium montrent des valeurs comprises entre 30 et 68 mg/l. Le calcium est le métal alcalino-terreux qui constitue les roches calcaires dans ses formes carbonatées. Cet élément à durée d'acquisition rapide donne des indications proches de celles de la minéralisation. Ainsi, la concentration en ions calcium dépend elle aussi principalement du débit. En période de basses eaux, la concentration des ions calcium est plus forte (source du Camp : 68 mg/l, le 1^{er} août 2004), en période de hautes eaux, les valeurs de Ca^{2+} diminuent (source du Camp : 36 mg/l, le 4 août 2004).

La teneur en ions magnésium a été obtenue en calculant la différence entre la dureté totale et la teneur en ions calcium. Les calcaires du Migaria sont irrégulièrement magnésiens, ce qui explique les disparités observées dans les valeurs obtenues : entre 52 et 160 mg/l. Le magnésium nécessite une longue durée

d'acquisition et il marque généralement des eaux dont le temps de contact avec l'aquifère est important : les teneurs les plus fortes ont souvent été observées à la fin d'une longue période d'étiage (source du Camp étiage 26/07/05 : 99 mg/l, étiage prononcé 01/08/05 : 101,6 mg/l, hautes eaux 04/08/05 : 56,8 mg/l).

c - Les enseignements apportés par la coloration

La coloration au gouffre du Velours visait à permettre une meilleure compréhension du massif de Migaria. La nécessité d'un écoulement pérenne a guidé le choix du lieu d'injection. Ce choix était limité car la plupart des gouffres visités ne présentaient des circulations d'eau que durant les pluies importantes. Un traçage qualitatif à la fluorescéine s'est imposé du fait de la durée de l'expédition limitée à trois semaines et des connaissances limitées du massif (aucune coloration, aucune valeur de débit n'ayant pu être trouvées dans la bibliographie). L'emplacement des sources n'est pas indiqué sur les cartes de l'ex U.R.S.S. Le choix des sources surveillées s'est fait après discussion avec les spécialistes géorgiens pour la localisation des principales émergences et après étude minutieuse de la carte géologique. La structure du massif de Migaria se présente comme un synclinal semi-perché d'axe NNE/SSE encadré par deux voûtes anticlinales. Le gouffre du Velours s'ouvre au centre de cette gouttière dans les calcaires de la série aptienne (Figure 6). La fluorescéine a été directement injectée le 26 juillet 2005, dans le cours d'eau souterrain à -190 m. A l'étiage, le débit était de 2 l/s.

Les fluocapteurs ont été disposés le 25 juillet 2005 de façon préférentielle aux sources Ndeidzakh (Figure 6). Le site de ces émergences, le plus important connu sur le massif de Migaria, est imposé par la structure et le relief. Elles jaillissent à 305 m d'altitude à l'endroit où la profonde vallée de la Khobi recoupe les strates redressées des séries barrémienne et aptienne. Plusieurs sorties d'eau se répartissent au niveau de la rivière ou quelques mètres au-dessus, sur 200 m de distance ; leur débit total doit dépasser les 1000 l/s. La carte géologique indique que ces sources sont situées dans les calcaires barrémiens au contact des calcaires marneux aptiens (qui jouent le rôle de couche imperméable). Des fluocapteurs ont aussi été placés à l'émergence du Porche et à celle de la Galerie, toutes deux situées dans les calcaires conaciens et campaniens. Enfin, deux fluocapteurs ont été disposés directement dans la rivière Khobi en amont et en aval de la confluence des différentes sources évoquées ci-dessus avec cette rivière principale. Un autre groupe important d'émergences a aussi été surveillé. Les différentes sources sortent dans le fond d'un ravin (calcaires conaciens et campaniens)

passant dans le village de Taia (Figure 6). Quatre arrivées d'eau principales ont été repérées à l'altitude de 380 m environ pour un débit total à l'étiage de 500 l/s. Les fluocapteurs ont été disposés à la sortie de la source principale située dans l'exact axe du ravin (émergence du Sud-Ouest n° 1) et dans le ravin lui-même en aval et en amont des différentes arrivées d'eau issues des versants dominant ce talweg. Il est à noter que la source captée du village de Taia n'a pas été surveillée, car les indications des Géorgiens ne nous ont pas permis de la localiser lors de la pose des fluocapteurs (Figure 6).

Les fluocapteurs ont été relevés le 4 août 2005 et analysés de retour en France par M. Douat (A.R.S.I.P., Association de Recherche Spéléologique Internationale à la Pierre Saint-Martin). L'extraction de la fluorescéine a été réalisée par une solution de potasse alcoolique à 10 % en poids (dont l'efficacité a été préalablement contrôlée sur un échantillon test). La visualisation du colorant a été réalisée par exposition à un faisceau de lumière blanche. Cette méthode n'est valable que pour les concentrations de fluorescéine supérieures à 10^{-6} g/l dans la solution d'extraction.

Tous les fluocapteurs de Ndeidzakhi se sont révélés positifs, ce qui peut paraître logique en regard de leur

localisation. Cependant, les réponses ont été faibles, ce qui peut s'expliquer par les conditions hydrologiques. Le colorant a été poussé par l'onde de crue générée par les pluies diluviennes survenues brutalement le 2 août 2005 et dans les jours suivants. Tous les écoulements ont été décuplés, d'où un passage du colorant vraisemblablement rapide et fortement dilué, d'autant plus que la quantité de colorant injectée était faible (900 g).

Les fluocapteurs situés dans la rivière n'ont pas donné de réponse assez lisible pour permettre de se prononcer ; les réponses étant encore plus faibles que pour les échantillons précédents. Les résultats sont considérés comme douteux, sans que l'on puisse affirmer qu'il y ait eu coloration. Les eaux de la Khobi, gonflées par les pluies, devaient atteindre un débit de 5 000 l/s environ, d'où une dilution trop forte et des concentrations dans les fluocapteurs en-dessous du seuil de détection.

Aucune coloration n'a pu être détectée à l'émergence de la Galerie, mais un doute subsiste pour l'émergence du Porche qui présenterait peut-être une faible coloration, bien que l'on soit près du seuil de détection, ici également. Ce résultat est d'autant plus douteux qu'il supposerait un partage des eaux à la fois vers les émer-

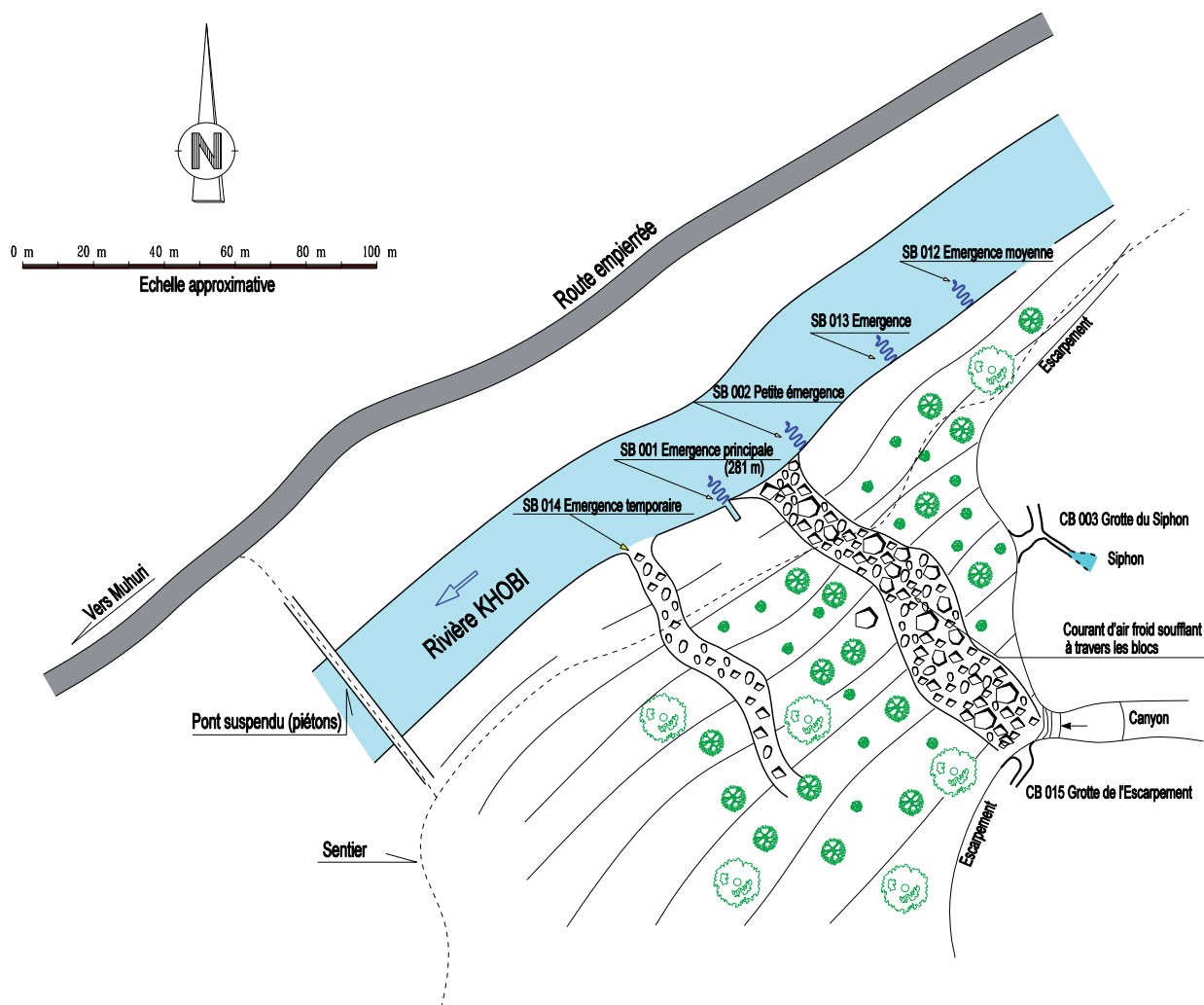


Figure 8 - Croquis du système d'émergences Ndeidzakhi, les plus importantes du massif de Migaria (vallée de la Khobi).

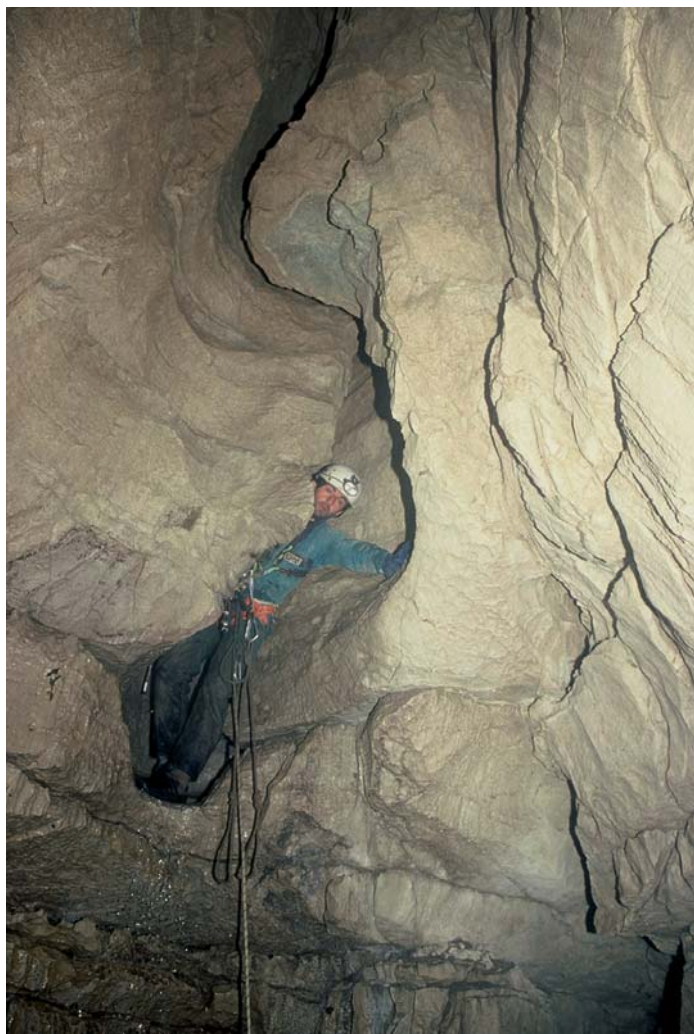


Photo 4 - Méandre de plafond et ressaut de 5 m dans le réseau Magnifique à -56 m (cliché J.-M. Gorgeon).

gences Ndeidzakhi et vers l'ouest, peu vraisemblable au regard de la géologie, mais non impossible. Il doit être pris avec beaucoup de réserve.

Enfin, toutes les solutions des émergences du Sud-Ouest sont apparues limpides et sont considérées comme négatives dans la limite de la sensibilité de la méthode.

d - Les grands bassins d'alimentation

Les limites exactes des bassins versants sont difficiles à déterminer en l'absence de tout écoulement de surface. Seules les déductions faites à partir des observations de terrain et confirmées par l'expérience de traçage permettent de mieux comprendre l'organisation des drainages. Il existe, dans l'état actuel des connaissances, trois systèmes karstiques importants. Rappelons que l'expression « système karstique » est employée ici dans son sens hydrogéologique, à savoir l'ensemble des fissures et drains karstiques alimentant une source. Les réseaux souterrains constituent des regards sur ces systèmes (Figure 6).

- Le système du synclinal Central : les émergences de Ndeidzakhi (305 m d'altitude) constituent la plus importante sortie d'eau du Migaria (1000 l/s). Plusieurs griffons sont visibles en rive gauche de la Khobi, dont quatre pérennes (Figure 8). Des émergences temporaires – situées à l'amont de deux ravins encombrés de blocs débouchant dans la rivière – constituent les sorties hautes du système lors des crues. La grotte du Siphon (CB 001) constitue un regard sur le système : la galerie supérieure (325 m), de 100 m de long, est sèche et richement concrétionnée. Le niveau inférieur, sur diaclase, donne sur un siphon (315 m, -10 m) dont les eaux viennent envahir toute la partie basse de la cavité lors des périodes de crues. La grotte de l'Escarpement (A 002) – simple conduit descendant entre roche et remplissage – est une ancienne sortie d'eau actuellement inactive. Le site de cette importante sortie d'eau est imposé par la structure et le relief. Elle jaillit à 305 m d'altitude à l'endroit où la profonde vallée de la Khobi recoupe le toit de la strate barrémienne. Son bassin d'alimentation draine, vers l'est, les calcaires albiens-cénomaniens, aptiens et barrémiens (comme le prouve la coloration au gouffre du Velours).

- Les systèmes orientaux : la partie ouest du massif présente en aval des sources de Ndeidzakhi plusieurs émergences pérennes. La source aux Travertins (269 m) possède un débit de 20 l/s (25 juillet 2004, étiage), ses eaux sursaturées (tufs peu importants et riches en débris) rejoignent la rivière par une cascade de 4 mètres. L'émergence du Porche (6 m au-dessus du niveau de la rivière, cascade) présente au-dessus de la sortie des eaux un porche fossile de dimensions modestes (2 m de large, 1 m de haut et 3 m de long) obstrué par des blocs (pas de courant d'air, 25 juillet 2004). Les eaux de l'émergence de la Galerie (+15 m) apparaissent au seuil d'une petite cavité qui n'a pas été explorée, faute de temps (galerie remontante facilement pénétrable au moins sur une dizaine de mètres). Mukhuri (326 m) est un réseau actif important long d'un kilomètre environ (SB 006, exploré par les spéléologues russes en 1987) ; une grille en protège l'entrée car il est en partie capté pour les besoins du village du même nom (30 l/s sans compter l'eau prélevée, turbidité moyenne le 4 août 2004 en situation de hautes eaux).

- Les systèmes du Sud-Ouest : une importante zone d'émergences est située le long du torrent de Khouro qui draine une partie de la zone méridionale du massif. En période de basses eaux, on peut repérer plusieurs sorties d'eau : n° 1 (386 m, 40 l/s), n° 2 (50 l/s), n° 3 (5 l/s), n° 4 (10 l/s) dans les calcaires coniaciens et campaniens. Plus en aval, en rive gauche, une source à 330 m (captage) et en rive droite, une source à 313 m ont été repérées.

CONCLUSION - DES RESSOURCES EN EAUX MAL RÉPARTIES ET ENCORE PEU EXPLOITÉES

Recevant près de 3 000 mm/an de précipitations, le massif de Migaria constitue un véritable château d'eau dont les ressources sont abondantes, mais difficilement exploitables en raison de la nature karstique du sous-sol. En altitude, les sources sont particulièrement rares dans les faciès des calcaires purs et sont toutes menacées de tarissement l'été (source du Sunset). Celles qui jaillissent à la faveur de bancs ou d'étages marneux, aux capacités de rétention plus importantes, ont plus de chance d'être pérennes (source inférieure du Col). Les cabanes des bergers sont situées à proximité des sources pérennes au débit suffisant pour permettre d'assurer les besoins quotidiens des hommes et d'abreuver le bétail (cabanes du Camp et du Camp d'altitude) : une brebis a besoin de 5 litres d'eau par jour, une vache ou une jument de 50 litres. Les aménagements restent rudimentaires : un petit tuyau de quelques mètres amène généralement l'eau jusqu'à de petits abreuvoirs où les animaux peuvent se désaltérer plus commodément ; parfois il n'existe même pas d'abreuvoir aménagé (source du Camp). Les ressources en eau sont potentiellement importantes à la périphérie de Migaria. Les émergences captées – réparties à la base du massif – satisfont largement les besoins des villages (exemple du village de Mukhuri), tandis que quelques aménagements individuels – tels que le château d'eau en ferraille de la maison du maire de Taia – permettent l'eau courante au robinet. Les besoins en eau des villages sont relativement constants : l'augmentation de la demande durant l'été est compensée par le fait que la majorité du bétail est en estive. L'eau de Migaria, faiblement minéralisée (entre 210 et 444 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ), n'est ni dure, ni agressive. Le principal inconvénient vient du fait que les eaux deviennent facilement turbides en période pluvieuse. La turbidité de l'eau – correspondant à une concentration élevée en matières en suspension – donne à l'eau une couleur qui peut aller d'une teinte blanchâtre (présence de colloïdes) durant

les périodes de hautes eaux à une teinte franchement brune (particules argileuses) lors des crues.

Comme tout massif calcaire, Migaria est sensible aux aménagements routiers, forestiers et pastoraux qui restent aujourd'hui limités car les modes d'exploitation sont, plus que jamais, traditionnels, conséquence de l'effondrement économique du pays. Les paysages sont somptueux car la pression sur les milieux naturels reste limitée, le symbole fort étant le maintien d'une faune sauvage : oiseaux de proie, chamois, loups et ours. Afin que cet équilibre demeure lors du développement économique prochain (inévitabile et souhaitable) de cette région, il faut trouver un compromis durable entre l'exploitation économique de la montagne et le respect des équilibres naturels. Cet équilibre passe nécessairement par une bonne connaissance du massif avec la prise en compte de sa spécificité liée à son substrat calcaire. Les recherches actuelles sont un premier éclairage, mais doivent être poursuivies. Le recoupement des informations spéléologiques et hydrologiques a permis de proposer un découpage de Migaria en plusieurs grands bassins karstiques. Cependant, de nombreuses incertitudes demeurent et les limites proposées mériteraient d'être précisées. Les recherches spéléologiques restent un bon moyen d'investigation avec l'exploration et la topographie des rivières souterraines. Ces investigations seront nécessairement complétées par la réalisation de traçages chimiques. Des injections devront être tentées dans des pertes de surface, telles celles du Camp, ou dans des rivières souterraines (Magnifique, Vano Gudelani). Pour le système Velours - Ndeidzakhi, maintenant mieux connu, un traçage avec un suivi quantitatif serait intéressant à mener. Enfin, le suivi hydrodynamique et hydrochimique est indispensable. L'idéal serait de pouvoir équiper certaines émergences (Ndeidzakhi, Mukhuri, Sud-Ouest) de stations de mesures en continu.

Remerciements

A Michel Douat, pour l'analyse des fluocapteurs et pour les tests de contrôle effectués sur les charbons actifs et la fluorescéine.

BIBLIOGRAPHIE

- BIROT P., DRESCH J., 1956. La Méditerranée orientale et le Moyen-Orient. Coll. Orbis, Presses Universitaires de France, Paris, 2, 526 p.
- GORGEON J.-M., PICARD P., VANARA N. coord., 2006. Expédition Géorgie 2004. Fédération Française de Spéléologie, Lyon, 56 p.
- LIGUE DE SPÉLÉOLOGIE DU LIMOUSIN, 2001. Géorgie 2001, rapport d'expédition. Fédération Française de Spéléologie, Lyon, 25 p.
- SPÉLÉO-CLUBS DE LA HAUTE-VIENNE ET DE SAINT-HERBLAIN, 1998. Géorgie 1998, rapport d'expédition. Fédération Française de Spéléologie, Lyon, 19 p.
- TINTILOZOV Z.-K., 1976. The karst caves of Georgia, morphological analysis (en Russe). House Metsniereba, Tbilisi, Géorgie, 274 p.
- VANARA N., 2000. Le karst des Arbailles (Pyénées occidentales, France). Contrôle tectonique, climatique, hydrogéologique et anthropique de la morphogénèse. Association Française de Karstologie et Fédération Française de Spéléologie, Karstologia Mémoires, 8, 320 p.