INSTITUT SUISSE DE SPÉLÉOLOGIE ET DE KARSTOLOGIE
SCHWEIZERISCHES INSTITUT FÜR SPELÄOLOGIE UND KARSTFORSCHUNG
ISTITUTO SVIZZERO DI SPELEOLOGIA E CARSOLOGIA
SWISS INSTITUTE FOR SPELEOLOGY AND KARST STUDIES

RAPPORT ANNUEL **2024**

FOCUS

Les chaud et froid du karst

Les collaboratrices et collaborateurs de l'ISSKA en 2024

Employé(e)s

Denis Blant	Science, patrimoine (50%)
Constanze Bonardo	Administration (10%)
Maud Galletti	Science (75%)
Philipp Häuselmann	Science, patrimoine (50%)
Pierre-Yves Jeannin	Science, administration (90%)
Marc Luetscher	Science, administration (100%)
Arnauld Malard	Science (90%)
Carole Mettler	Secrétariat (40% fin 4.24)
Véronique Monnard	Secrétariat (40% dès 5.24)
Amandine Perret	Science, enseignement (80%)
Simon Pettelat-Drouin	Science (80%)
Eric Weber	Science (80%)

Collaborateurs externes

Michel Blant
Christian Lüthi
Urs Eichenberger
Rémy Wenger

(Post-)Doctorants

Miguel Bartolomé	post-doctorant projet Paleoflood
Neal Mathes	doctorant projet CaveSeds
Claudio Pastore	doctorant Thermokarst
Amir Sedaghatkish	doctorant Thermokarst
Ainhoa Val Pascua	doctorante projet CaveSeds

Civilistes

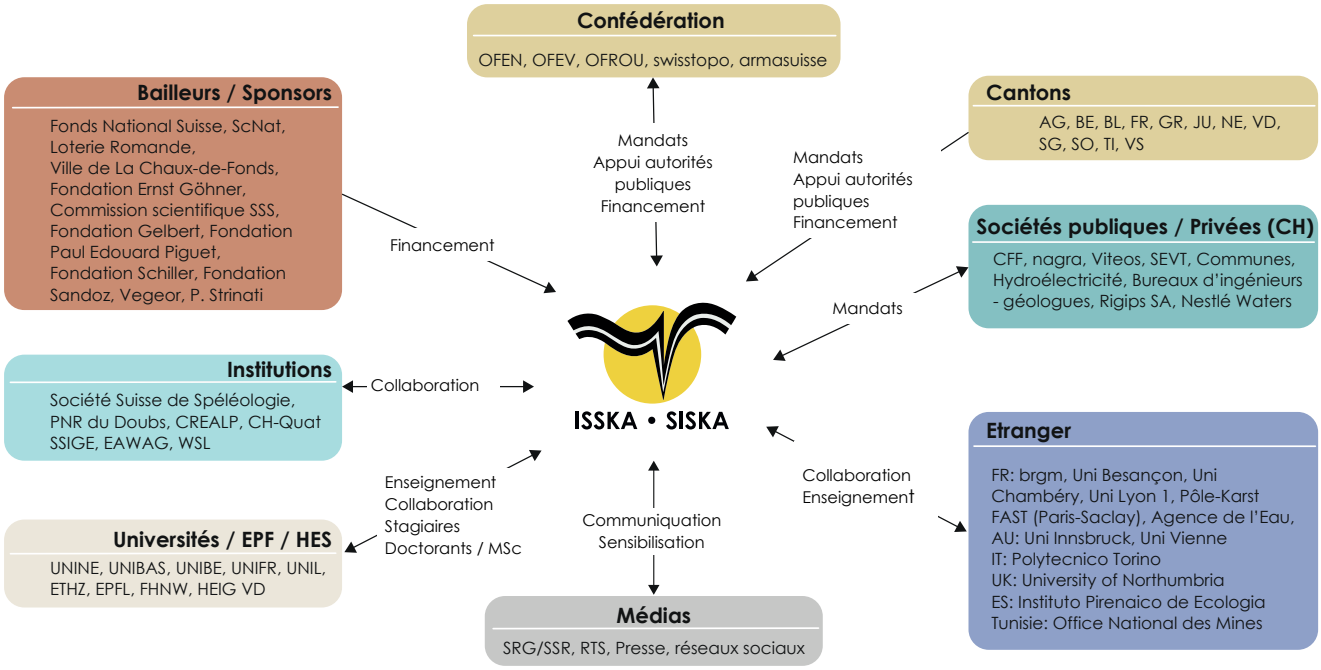
Marco Bearzi
Jonathan Boissonnas
Max Condouret
Jonas Hermann
Timothy Houle

Stagiaires / étudiants

Romane Herrisé
Valentin Michel
Joël Stöcklin

L'ISSKA travaille en interne sur un mode qui prône l'égalité, la concertation, le respect mutuel et un fonctionnement où les aspects économiques représentent une nécessité et non un but. Ce mode de fonctionnement intégratif laisse des traces dans l'esprit des nombreux stagiaires, étudiants et civilistes que nous accueillons et encadrons chaque année.

Les principaux partenaires de l'ISSKA en 2024



@isska.siska

@isska.siska

Couverture:
Mesures géoradar pour déterminer l'épaisseur de la glace à la Glacière de Monlési (NE).

L'ISSKA dans les médias en 2024

Presse : Horizon, Sonntagszeitung, Schweizer Familie, Coopération Magazine, Pro Natura Magazine, Schweizer Strahler, Le Quotidien Jurassien, ArcInfo, 24Heures, SRF 1 et 2

TV : Val TV

Institut suisse de spéléologie
et de karstologie

Rue de la Serre 68
CH-2300 La Chaux-de-Fonds
Tél. +41 (0)32 913 35 33
info@isska.ch
www.isska.ch

Fondateurs

Société suisse de spéléologie

Office fédéral de l'Environnement

Académie suisse des sciences naturelles

Canton de Neuchâtel

Canton du Jura

Ville de La Chaux-de-Fonds

Sublime, société organisatrice
du XII[e] Congrès international
de spéléologie

Soutiens

Fonds national suisse

LOTERIE ROMANDE

Editorial

Le karst au service de la transition énergétique

Aujourd'hui, environ 50% de la consommation énergétique suisse est liée au domaine de la chaleur. Ce dernier comptabilise à lui seul plus de 35% des émissions de CO_2. La volonté d'atteindre zéro émission d'ici 2050 passe donc à la fois par le développement des énergies renouvelables indigènes, mais aussi par un renforcement de la sécurité d'approvisionnement . La valorisation du sous-sol et de son «climat» particulier, influencé par la chaleur de la Terre, la circulation des eaux et les propriétés des roches, peut venir offrir de nombreuses solutions prometteuses.

Encore peu explorés dans une optique énergétique, les karsts ont l'avantage de stocker et transporter des quantités importantes de chaleur. Leurs nappes souterraines, avec leurs températures stables, s'avèrent adéquates pour une exploitation à faible température, pour alimenter des pompes à chaleur individuelles ou des réseaux de chauffage à distance. Comme l'eau y circule rapidement, on peut y capter de l'énergie de façon efficace, sans abaisser notablement la chaleur souterraine. Cela est favorable à assurer une gestion durable de la ressource.

La demande en énergie thermique étant soumise à de grandes fluctuations, l'intérêt du stockage saisonnier fait l'objet d'un intérêt grandissant. L'idée est de reporter les excédents de production de chaleur de l'été en hiver. Certains karsts pourraient s'avérer de bons candidats au développement de tels projets. Une bonne compréhension des échanges de chaleur et des écoulements souterrains est toutefois nécessaire. Le recours aux modèles de l'ISSKA peut dès lors faciliter une planification garantissant les autres usages comme l'approvisionnement en eau potable.

L'intégration des potentiels du sous-sol dans les plans d'aménagement du territoire sera déterminant pour réaliser les objectifs climatiques et énergétiques de la Suisse. Aujourd'hui, on dispose déjà d'outils permettant de mettre en évidence les zones favorables à une exploitation thermique en fonction de leur profondeur. Ces mêmes outils servent également à mieux protéger des ressources fragiles et sensibles aux pollutions. Ici se dessine une vraie opportunité : combiner la forte tradition de la Suisse en matière de protection des eaux avec la volonté de décarbonation.

En réunissant scientifiques, ingénieurs, autorités et citoyens, le karst pourrait au final bien devenir un acteur majeur de la transition énergétique.

Dr Pierre Christe
collaborateur spécialisé « chaleur renouvelable », Office fédéral de l'énergie

Le climat des grottes et ses effets

Les chauves-souris trouvent les grottes attractives pour leur température constante et parce qu'elles les protègent du gel en hiver. Dans de nombreuses régions, les grottes sont encore utilisées comme garde-manger réfrigéré… Vous verrez ci-après que les sous-sols renfermant des grottes sont plutôt froids par rapport aux régions sans grottes. Nous terminons le projet de recherche THERMOKARST, soutenu par le Fonds National de la Recherche Scientifique, qui nous permet de mieux comprendre comment les circulations d'eau et d'air contrôlent la température dans les massifs karstiques.

Bien comprendre le climat souterrain est fondamental pour l'étude des paléoclimats (voir p. 8), pour la question des habitats souterrains (voir p. 9) et pour la géothermie (voir p. 10).

Peut-on respirer dans les grottes ?

Il s'agit d'une des questions les plus fréquemment posées par le public. La réponse simple est : « Oui, car les grottes sont ventilées de manière naturelle. » Sans cette ventilation, l'air serait peu respirable. Dans le détail, c'est toutefois un peu plus compliqué ! En effet, comme l'illustre la figure 1, le gaz carbonique produit dans les sols par les racines des plantes et les microorganismes est dissous dans l'eau de pluie qui s'y infiltre. Ce gaz, entrainé par l'eau vers la profondeur, ressort dans l'air des grottes (dégazage), induisant des concentrations élevées dans l'atmosphère souterraine. Dans les grottes alpines, où la couverture végétale est faible, ce n'est pas vraiment un problème. Mais, dans les régions où des sols épais recouvrent les calcaires, l'air souterrain peut devenir irrespirable. Ainsi, dans le Jura tabulaire, zone karstique de basse altitude, l'air devient peu respirable dans certaines grottes, particulièrement en fin d'automne, lorsque les pluies transportent le gaz accumulé tout l'été des sols vers les cavernes sous-

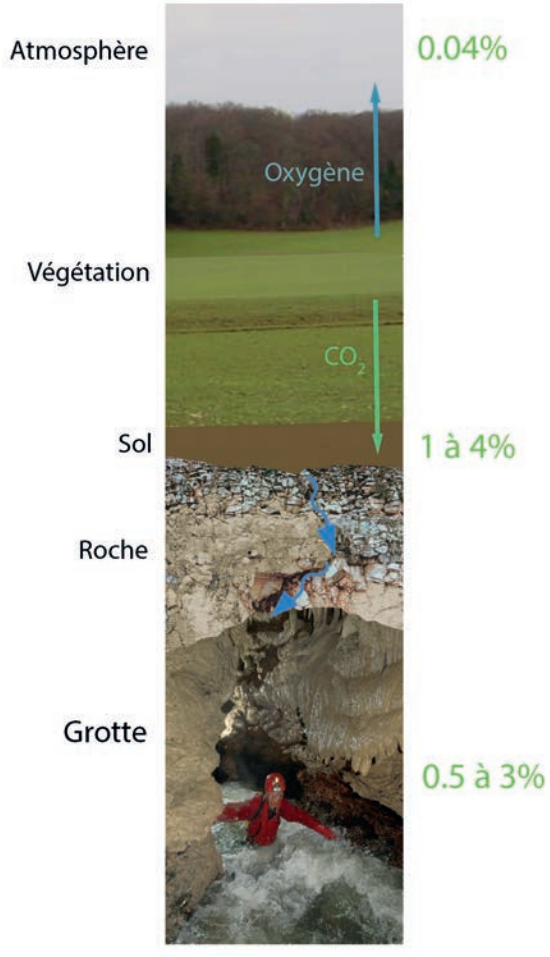
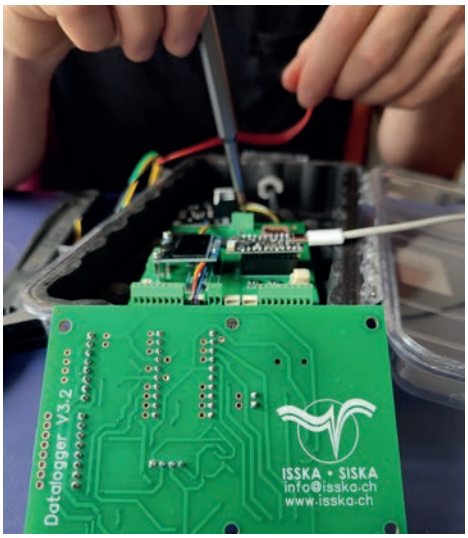


Figure 1 : Concentration de CO_2 dans l'air (à droite). La végétation produit beaucoup de CO_2 dans le sol, qui se dissout dans l'eau, descend sous terre et se répand dans l'air des grottes.

jacentes. Ce phénomène s'accentue au fil des ans avec le réchauffement climatique, qui renforce l'activité biologique des sols et accentue ainsi la production de gaz carbonique.

En plus du gaz carbonique, les sols karstiques sont enrichis en radium, à l'origine du radon un gaz radioactif cancérigène. Comme le gaz carbonique, il se dissout dans l'eau d'infiltration et envahit l'air des grottes. Force est de constater que les concentrations en radon sont souvent plus élevées en grotte que dans l'air extérieur, mais seules quelques cavités peu ventilées contiennent des teneurs réellement élevées.

La plupart des grottes sont donc suffisamment ventilées pour que l'air y soit respirable, mais présentent des teneurs en gaz produits dans les sols qui sont tout de même notablement plus élevées – généralement 10 à 100 fois – que celles de l'atmosphère extérieure.



Appareil construit par l'ISSKA pour mesurer le CO_2 dans les grottes.

A Milandre, le CO_2 du sol met plusieurs mois pour arriver dans la grotte

Dans le laboratoire souterrain de la grotte de Milandre, les concentrations de CO_2 sont mesurées dans le sol et la grotte. On observe des variations rapides et importantes, qui correspondent principalement aux changements de ventilation de la grotte entre jours chauds et froids (figure 2).

Au cours d'une année, l'activité biologique du sol varie notablement entre le repos hivernal, avec des concentrations de l'ordre de 1%, et l'intense activité printanière et estivale, induisant des concentrations pouvant dépasser 3 à 5%. La figure 3 illustre cette évolution de la concentration de CO_2 dans le sol et l'épikarst au fil d'une année. De façon assez surprenante, les concentrations maximales, respectivement minimales sont mesurées dans la grotte 3 à 5 mois (selon les années) après celles des sols. Le décalage correspond au temps nécessaire à l'eau du sol, chargée en CO_2, pour atteindre la grotte. Relevons ici que les valeurs mesurées dans la grotte sont largement supérieures à la valeur limite d'exposition pour des conditions de travail « saines » (max. 0.5% pour une exposition régulière 8 heures par jour).

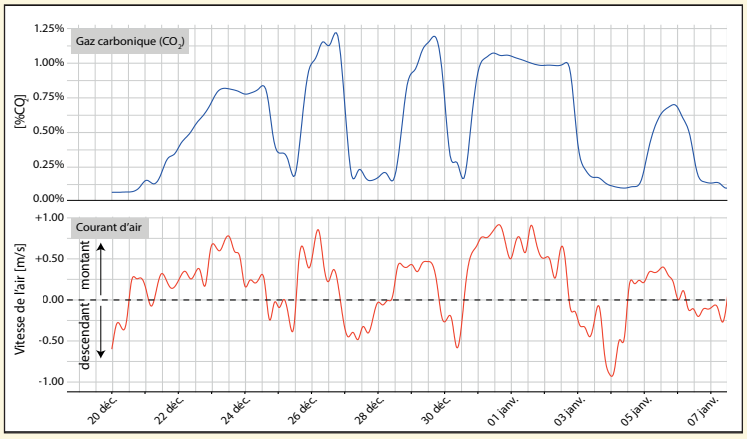


Figure 2 : Les variations journalières du courant d'air dans la grotte de Milandre induisent des variations de la concentration en gaz carbonique (CO_2).

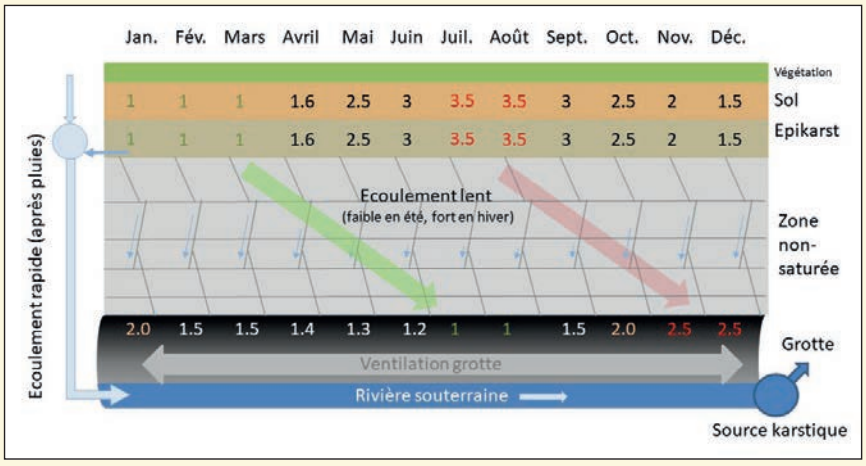


Figure 3 : Les variations rapides du sens du courant d'air, liées aux variations de température extérieure, provoquent des variations de la concentration en gaz carbonique (CO_2) dans la grotte de Milandre. Le courant d'air est montant les jours froids et descendant les jours chauds.

FOCUS

Pourquoi fait-il plus chaud dans les tunnels et les mines que dans les grottes ?

Il est communément admis (et souvent mesuré) que la température du sous-sol augmente de 30°C par kilomètre de profondeur sous la surface du sol. Or, cette règle ne s'applique pas dans les massifs karstiques ! Par exemple, dans le Bärenschacht, dont certaines galeries sont recouvertes de 1400 m de roche, la température n'est que de ~10°C alors dans le tunnel du Simplon, à la même profondeur, il fait plus de 30°C (figure 4).

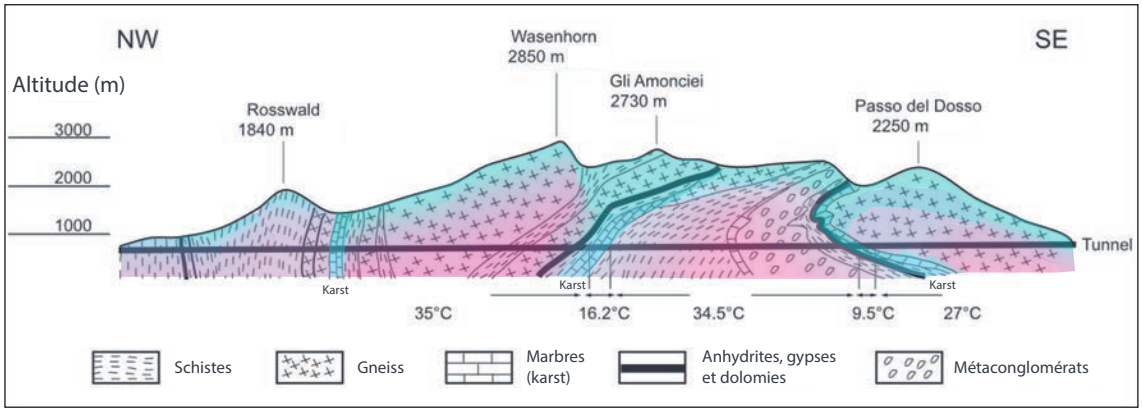
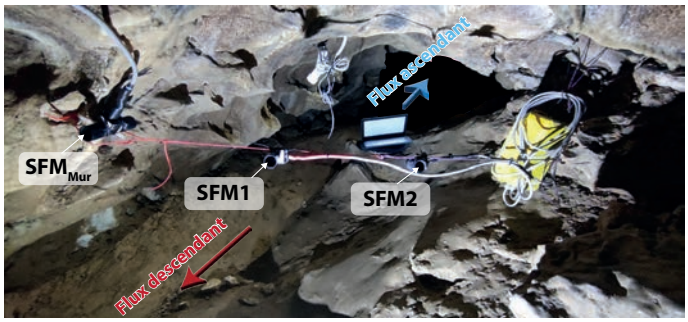


Figure 4 : Profil géologique et températures dans le tunnel du Simplon. Les zones à forte circulation karstique sont nettement plus froides que les zones peu perméables (modifié d'après Bianchetti et al. 1993).

Dans les massifs karstiques, les ouvertures naturelles permettent des circulations d'air (ventilation) et d'eau (percolation) en quantités considérablement plus élevées que dans les massifs non-karstiques.

Ainsi, le sous-sol karstique est notablement mieux connecté au monde extérieur que les autres types de sous-sols. Cette connexion est essentiellement contrôlée par les flux d'air et d'eau. Un des objectifs du projet THERMOKARST mené par l'ISSKA au cours des 4 dernières années était de mieux comprendre l'importance de ces flux. Pour les lecteurs passionnés, les publications scientifiques liées à ce projet sont citées en page 16.

Le projet incluait une partie théorique impliquant des simulations numériques basées sur des lois physiques et une partie empirique basée sur des mesures dans différentes grottes. S'il est relativement facile de mesurer des températures de l'air, de l'eau et de la roche, il est déjà plus difficile de mesurer des débits d'eau à travers le massif. Cependant, des ordres de grandeur de ces débits peuvent être estimés, limités qu'ils sont par la quantité totale de précipitations arrosant un massif. Dans le projet, le défi principal a été de mesurer les débits d'air circulant dans les grottes. En effet, les instruments de mesure existants ne sont pas adaptés aux conditions des grottes, en particulier lorsque l'humidité est très élevée. Il a donc fallu tester de nombreux appareils pour aboutir à des résultats relativement cohérents. De plus, les courants d'air varient beaucoup d'un point à l'autre d'une section de galerie dont la géométrie est généralement complexe. Il est alors difficile d'extrapoler une mesure locale sur toute une section. Ainsi, après bien des efforts, il a été possible d'obtenir des valeurs approximatives de flux d'air pour quelques grottes pendant environ 2 ans. Ces mesures sont parmi les premières du genre et permettent de fixer un ordre de grandeur applicable à d'autres cavités.



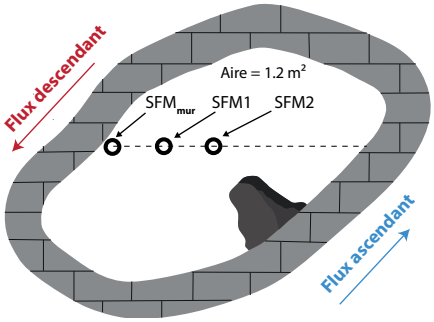


Figure 5 : Test d'un anémomètre dans la Baume de Longeaigue pour évaluer les vitesses de l'air mesurées à trois endroits différents dans une section de galerie (tiré de Pastore et al. 2024).

Figure 6 : Mesures de température de l'air et de la roche. La sonde à l'intérieur du tuyau est protégée pour mesurer uniquement la température de l'air et éviter que la température de la paroi ne l'influence par rayonnement thermique. A droite, la sonde est collée contre la paroi. Les cylindres blancs mesurent des températures intermédiaires entre celle de la paroi et celle de l'air.

Monitoring de la Baume de Longeaigue

La Baume de Longeaigue, à l'extrémité ouest du Val-de-Travers (NE), a été étudiée de manière assez détaillée pour quantifier les différents flux de chaleur. Ceux-ci sont liés aux circulations d'eau, d'air et à la conduction de chaleur à travers la roche.

Eau

La grotte étant une source temporaire, nous avons admis qu'aucun flux de chaleur géothermique provenant des profondeurs terrestres n'atteint la grotte car celui-ci est entièrement drainé par les eaux souterraines en direction des sources situées plus bas dans le massif. Par contre, l'eau infiltrée de manière diffuse à la surface du massif s'accompagne d'un flux de chaleur qui pénètre dans le sous-sol et descend vers la grotte. Les modèles montrent que l'eau infiltrée s'équilibre très vite (après quelques mètres) avec la température de la roche qui est elle-même proche de la température moyenne extérieure de l'air. Par ailleurs, la perte d'altitude de l'eau de percolation induit un réchauffement de l'ordre de 0.25°C par 100 m (transformation de l'énergie potentielle en chaleur).

Air

La grotte ayant deux entrées, un « effet de cheminée » s'installe naturellement induisant un courant d'air ascendant en hiver et descendant en été (figure 7). Différentes stations de mesure ont donc été installées le long de la grotte pour mesurer le courant d'air et les variations thermiques (Figures 5, 6, 8). En s'éloignant des entrées, on constate que l'amplitude des variations de température de l'air entrant dans la grotte diminue. En étudiant ces données, nous avons pu quantifier les échanges de chaleur entre l'extérieur et la grotte.

Un modèle numérique couplant les courants d'air et les échanges thermiques avec les parois de la grotte a été élaboré et aboutit à des résultats satisfaisants, à la condition de tenir compte des passages les plus étroits de la grotte. Comme le montre la courbe orange de la figure 9, les variations de température au milieu de la grotte sont simulées correctement, mais un écart systématique de l'ordre de 1.5°C était observé entre les mesures de terrain (courbe noire) et les résultats du modèle (courbe orange).

Conduction

L'écart observé est probablement lié à l'effet de la conduction de chaleur depuis la surface du sol. En effet, nous avions admis que la température dans le sol au-dessus de la grotte était équivalent à la température moyenne de l'air. Or, il semble habituel de mesurer dans le sol des températures supérieures de 1 à 2°C à la température moyenne annuelle de l'air. Le rayonnement solaire qui réchauffe le sol serait la cause principale de cet écart. La prise en compte de ce paramètre permet d'obtenir un résultat cohérent avec les valeurs mesurées (courbe jaune de la figure 9).

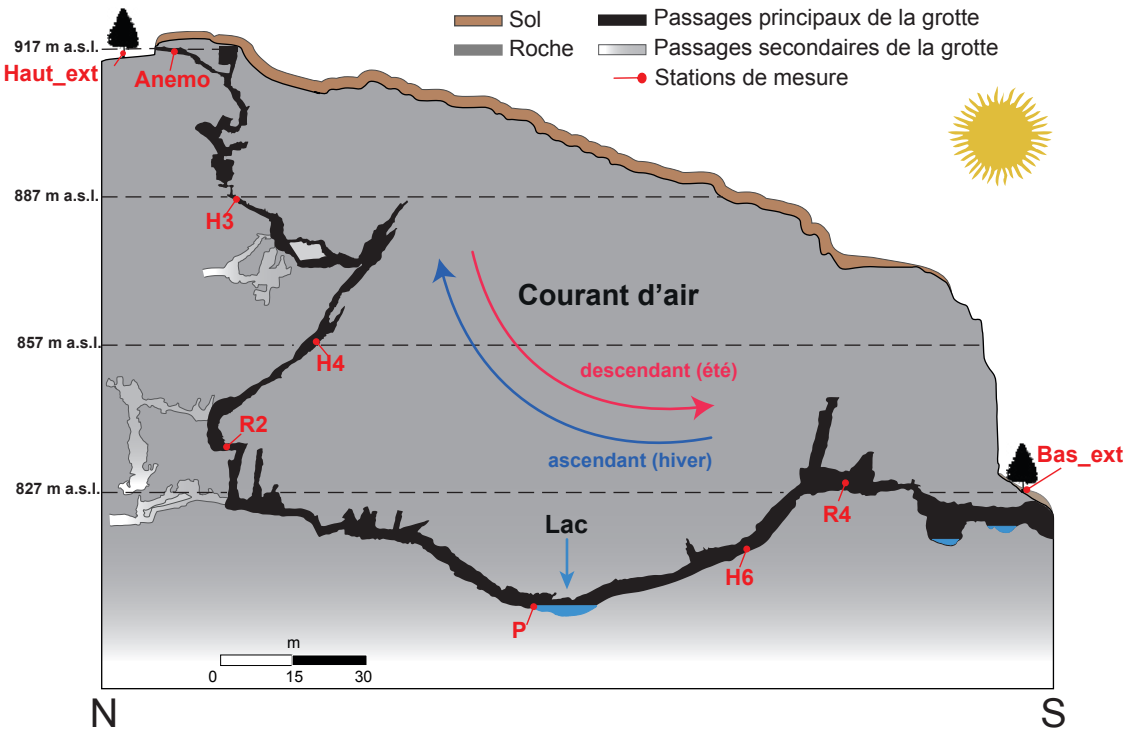


Figure 7 : Coupe développée de la Baume de Longeaigue avec les positions des différentes stations de mesure.

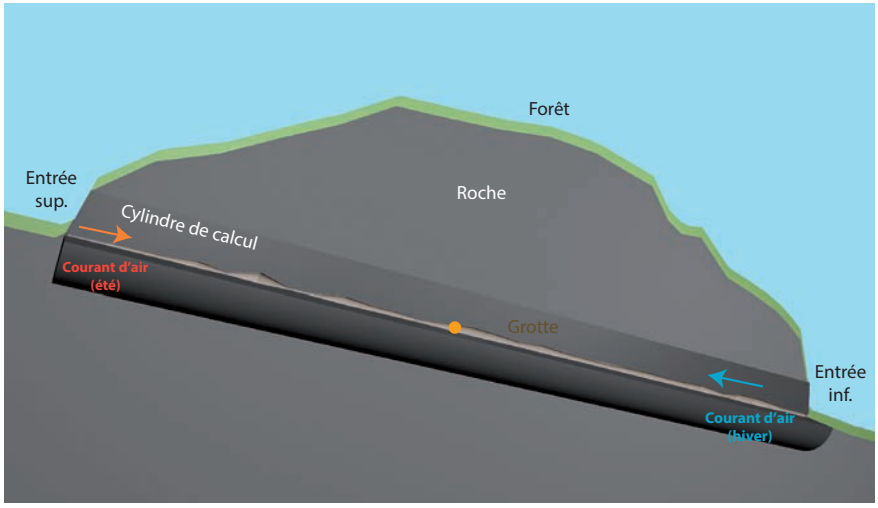


Figure 8 : Profil schématique de la Baume de Longeaigue simplifiée pour le calcul thermique. La grotte est parcourue par un courant d'air qui s'inverse selon la saison. Pour le calcul, la grotte est incluse dans un cylindre de 20 m de diamètre autour duquel les conditions sont fixées par la température du massif sous la surface. La température de l'air entrant dans la cavité varie selon la température mesurée à l'extérieur. Le point orange indique la position de la station de mesure simulée à la figure suivante.

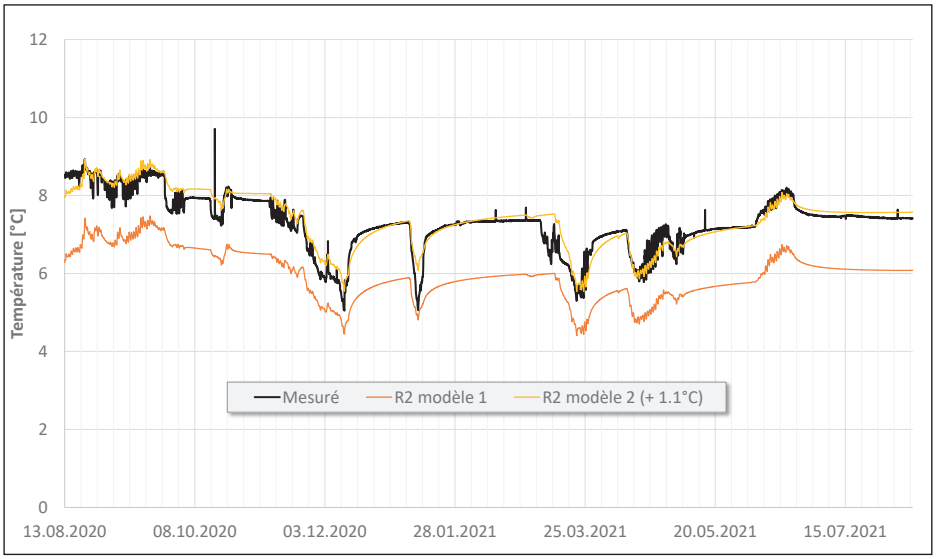


Figure 9 : La courbe noire décrit l'évolution de la température à la station R2, située presque au milieu de la grotte (point orange de la figure 8). Le premier modèle (courbe orange) simule correctement les variations, mais la température est systématiquement trop basse. Le modèle 2 (courbe jaune) admet que la température du sol est 1.1°C plus élevée que la température de l'air entrant dans la cavité. Il montre que l'effet de la conduction thermique à travers la roche joue un rôle significatif sur la température de la grotte.

Comment les grottes enregistrent les changements climatiques

Echappant à l'érosion active en surface, les grottes préservent des concrétions (stalactites, stalagmites, etc.) durant des centaines de milliers, voire des millions d'années. Les stalagmites sont celles qui enregistrent le mieux les signaux climatiques et qui sont ainsi l'objet d'intenses études scientifiques pour restituer les changements climatiques au cours du temps.

Elles se forment à partir des gouttes d'eau qui tombent du plafond de la grotte et qui contiennent un peu de calcaire qui a été dissous dans les roches sus-jacentes. En arrivant dans l'air de la grotte, le CO_2 dissous s'échappe dans l'air de la grotte (dégazage) et le calcaire dissous précipite en déposant annuellement une fine couche de calcite au sommet de la stalagmite. Le taux de dégazage est contrôlé par la production de CO_2 dans le sol, par le débit de l'eau et par les circulations d'air hypogées. Il détermine la structure cristalline et l'épaisseur de la couche déposée. Une croissance rapide reflète souvent une cavité bien ventilée dans un massif recouvert d'un sol important. Inversement, une croissance lente est généralement observée dans un massif alpin où, en haute altitude, la couverture de sol est modeste ou même absente. Au fil du temps, le débit d'eau et l'épaisseur du sol changent en fonction du climat extérieur. Le régime de ventilation peut lui-aussi évoluer, par exemple au gré des effondrements affectant une entrée de grotte. Comprendre l'évolution morphologique d'un système karstique permet donc une meilleure interprétation de l'enregistrement paléoclimatique enregistré au sein d'une grotte.

Les cristaux de calcite d'une stalagmite peuvent également être analysés pour leur composition isotopique. Ainsi le rapport des isotopes 18 et 16 de l'oxygène est lié au rapport de ces isotopes dans l'eau alimentant la concrétion, qui dépend elle-même de l'eau des précipitations sur le massif calcaire. Dans les régions tempérées et humides comme la Suisse, cette signature isotopique reflète avant tout les fluctuations de température de l'atmosphère extérieure. Cependant, la température de la grotte influence également le

signal enregistré. C'est pourquoi, les résultats du projet THERMOKARST visant à déterminer la distance à laquelle les variations de température extérieures sont mesurables étaient importants. Ils peuvent guider l'échantillonnage scientifique des stalagmites. Les études menées à la Baume de Longeaigue mettent en évidence une réponse thermique contrastée. Dans les galeries fortement ventilées, des variations saisonnières de la température et de l'humidité de la grotte sont probables, induisant des variations isotopiques selon un cycle annuel. Dans les galeries latérales, peu ventilées et donc moins connectée à la surface, seules les fluctuations thermiques de longues durées (décennies, siècles ou millénaires) sont visibles. On peut donc anticiper que l'enregistrement climatique différera d'une galerie à une autre en fonction du site d'échantillonnage. En choisissant bien les sites d'échantillonnage on obtient toutefois de bonnes corrélations des signaux isotopiques à une échelle de larges régions.

Figure 10 : Petite stalagmite prélevée dans la grotte de la Milchbach (BE). Les changements pétrographiques reflètent une modification du régime de ventilation suite aux avancées et retraits du glacier supérieur de Grindelwald qui ont obstrué épisodiquement l'entrée de la cavité.

Climat souterrain et habitats

Si la température d'une grotte représente un paramètre important pour l'écosystème souterrain, la présence d'eau semble plus significative encore. Avec le changement climatique, la distribution des précipitations en cours d'année varie et les évènements de recharge extrême se font plus fréquents. Bien que très résiliente, la faune cavernicole doit s'adapter à ces nouvelles conditions pouvant impliquer des périodes de sécheresses prolongées ou des inondations récurrentes. Dans les cavités exemptes de circulations d'eau importantes, la condensation représente un apport d'eau bienvenu. La mesure du courant d'air couplée aux modèles thermiques développés dans le cadre du projet THERMOKARST permettent de quantifier les masses d'eau associées. A la Baume de Longeaigue, cela représente un flux d'eau de l'ordre de 1000 l par année. Si cela peut paraître insignifiant par rapport aux volumes d'eau circulant dans un massif karstique, localement cela peut représenter un apport en humidité précieux. Ceci est particulièrement vrai pour les pays situés en zones arides où la condensation représente parfois le seul apport d'eau. A l'inverse, l'évaporation est particulièrement présente en période hivernale dans la zone d'entrée inférieure d'un réseau spéléologique.

Au-delà de l'impact thermique, la ventilation souterraine affecte les habitats souterrains de différentes manières. Selon la géométrie des galeries, des pièges à air chaud ou froid peuvent se former. Les coupoles situées au plafond des galeries tendent ainsi à accumuler de l'air chaud, moins dense, ce qui peut inciter certains types de faune à y trouver refuge. De manière similaire, les galeries peu ventilées peuvent présenter des concentrations en CO_2 relativement élevées ce qui peut aussi être un critère déterminant pour qu'une espèce colonise ou non un habitat particulier. Toute modification des flux d'eau et d'air peut ainsi modifier un écosystème fragile. A ce jour, il existe assez peu d'études caractérisant ces différents habitats, et décrivant les différentes espèces qui y habitent. La Suisse est particulièrement en retard sur ce sujet. Les travaux de l'ISSKA soutenus par l'OFEV et le canton de Neuchâtel apportent quelques premiers éléments de réponse pour décrire ces différents milieux et leurs habitants. A terme ces études permettront de proposer des mesures de conservation pour modérer l'impact anthropique sur le milieu souterrain.

Figure 11 : Un diploure du genre Plusiocampa. *photo Myriam Widmer.*

FOCUS

Exploiter la chaleur des massifs karstiques

Comme les massifs des régions karstiques sont plus froids que ceux d'autres régions, il est important de pouvoir donner des recommandations adéquates pour l'exploitation de la chaleur du sous-sol (géothermie). Cela évitera de rechercher de la chaleur là où il y en a moins qu'on ne pourrait l'espérer. Ces connaissances permettre de dimensionner correctement les installations et d'évaluer leur rentabilité afin de décider de leur implantation ou non. Ceci concerne avant tout les exploitations de type « sondes géothermiques » aussi appelées géothermie de faible profondeur (en général jusqu'à 200 m sous la surface).

La présence de cavités dans la roche est généralement considérée comme problématique pour l'exploitation de sondes géothermiques. Nous avons mené différentes simulations, inspirées par nos mesures de terrain. Nous voulions savoir si la présence de cavités diminue notablement l'efficacité des sondes géothermiques. Nous avons constaté que, de manière générale, l'effet est plutôt insignifiant et pourrait même, dans certains cas, tendre à améliorer le rendement ! Un exemple de simulation est donné à la figure 12.

L'énergie extractible d'une sonde géothermique est assez limitée. Elle correspond bien à l'énergie nécessaire pour une villa ou un petit immeuble, mais est insuffisante pour alimenter un gros immeuble. Ainsi, même en multipliant les sondes, il est difficilement envisageable d'alimenter un chauffage à distance.

La géothermie dite « de moyenne profondeur » (entre 200 et 2000 m de profondeur) est une alternative intéressante et plusieurs projets de ce type sont en cours d'exploration, en particulier dans le canton de Vaud. Les premiers forages ont cependant conduit à certaines surprises qu'il convient d'essayer de mieux comprendre. Ainsi, les connaissances acquises dans le cadre de nos recherches nous permettent d'évaluer l'effet de la présence des systèmes karstiques, et plus généralement des circulations d'eau souterraine sur ces ressources géothermiques. L'Etat de Vaud s'est donc approché de l'ISSKA pour voir dans quelle mesure nous pourrions améliorer les pronostics et augmenter le taux de réussite de tels projets. Au-delà de l'analyse des données issues des cas rencontrés, nous commençons de développer un concept qui doit nous permettre de prédire la température du sous-sol et pour extraire de la chaleur des séries de roches formant le Jura et le Plateau suisse. Nous pensons pouvoir être en mesure d'établir des cartes en 3D de températures du sous-sol plus précises et plus fiables que celles qui existent actuellement.

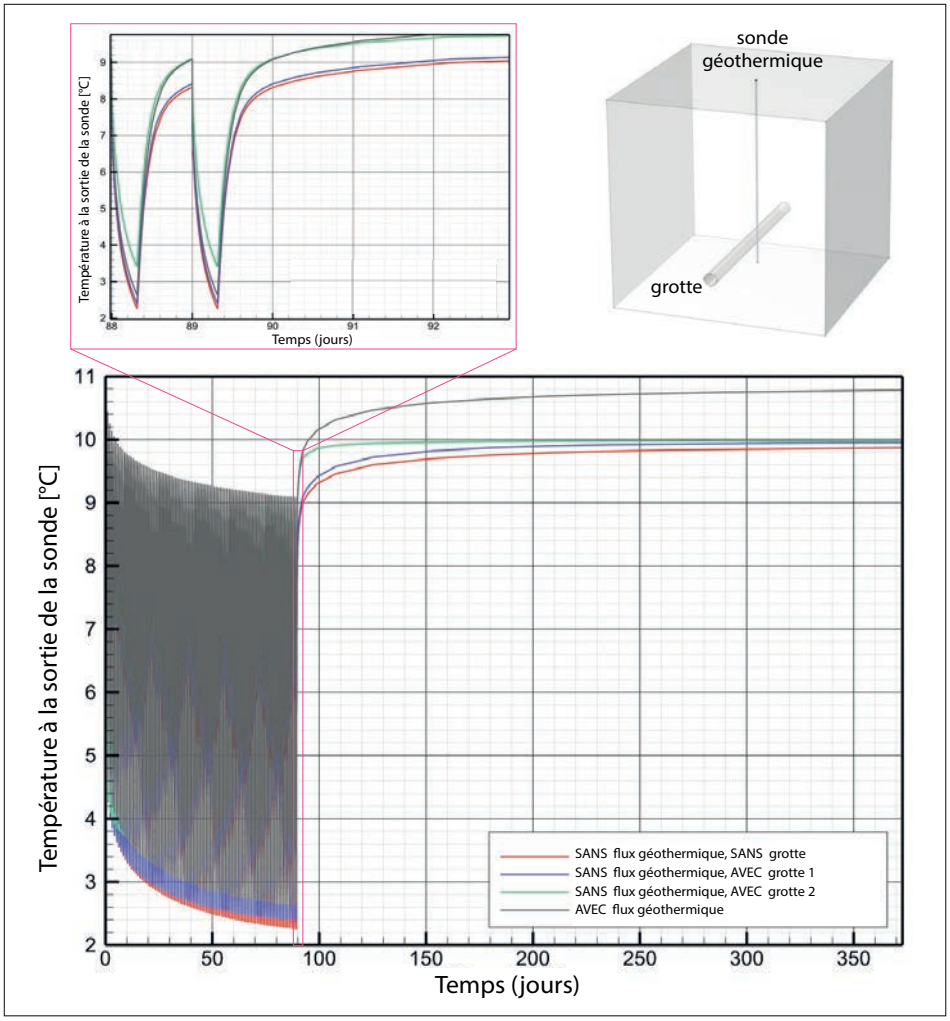


Figure 12 : Simulation de l'exploitation de chaleur d'une sonde géothermique verticale de 100 m de profondeur, avec ou sans grottes à proximité du forage. L'extraction de chaleur se fait pendant les 90 premiers jours, et le puits récupère pendant le reste de l'année. Le cas le plus défavorable (courbe violette) est celui d'un forage sans grotte à proximité, mais où le flux géothermique est nul car évacué par les circulations d'eau en profondeur dans le karst. La situation est légèrement meilleure si des grottes se trouvent à proximité du forage (courbes bleue et verte). Le cas d'un massif non-karstique (courbe noire) est plus favorable dans tous les cas.

Une autre possibilité d'exploiter de la chaleur est d'extraire quelques degrés de larges volumes d'eau. C'est une stratégie que plusieurs villes de Suisse commencent d'appliquer en utilisant l'eau des lacs comme source d'énergie. De manière analogue, il est aussi envisageable d'utiliser les sources karstiques, vu leur débit important et leur température constante. Les puissances disponibles sont importantes, atteignant souvent plusieurs dizaines de Megawatts (MW) par source : Cette méthode est nettement plus simple et moins risquée que l'extraction via des forages. Le principe est décrit à la figure 13 : un échangeur thermique refroidit l'eau de la source de 1 à 3°C grâce à une pompe à chaleur. Ce refroidissement est plutôt perçu comme un avantage environnemental dans le contexte actuel de réchauffement climatique. Ce système présente cependant l'inconvénient de devoir utiliser une pompe à chaleur consommatrice d'électricité. Un projet visant une exploitation de ce type est en discussion dans le canton du Jura. D'autres pourraient suivre dans un avenir proche.

D'autres réflexions sont en cours pour améliorer la gestion de l'énergie. Il est connu des énergéticiens que le stockage de chaleur représente un enjeu important. Les informations et simulations effectuées dans le cadre de nos recherches indiquent que le milieu karstique n'est pas moins adéquat qu'un autre type de milieu pour stocker de la chaleur et que, globalement le sous-sol, en raison de sa forte capacité thermique, peut représenter une piste intéressante. Nous évaluons donc comment envisager de tels stockages dans les régions calcaires. Les scénarios possibles sont assez nombreux et les réflexions ne font que commencer....

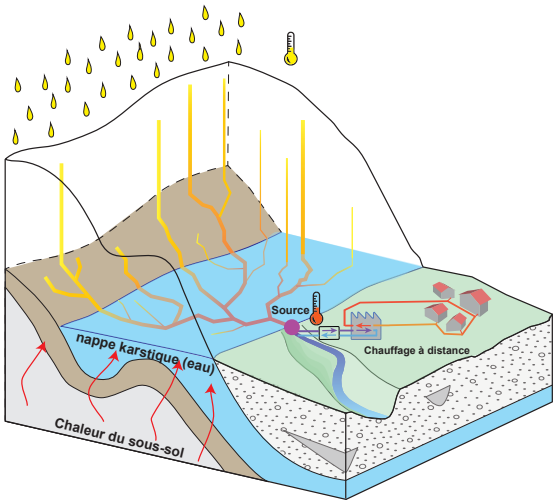
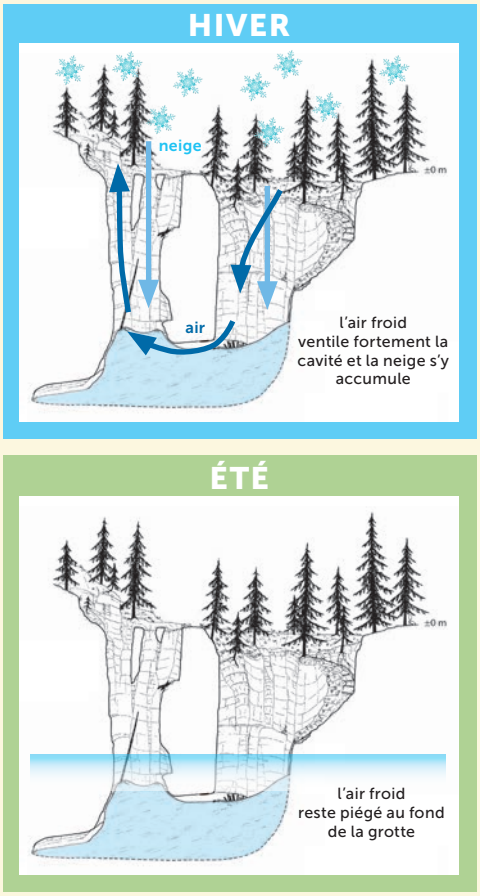


Figure 13 : Exploitation de la chaleur des sources karstiques : En transitant à travers le massif karstique, les eaux de pluies se réchauffent de quelques degrés. Elles collectent en particulier la chaleur du sous-sol qui remonte vers la surface, ceci sur les dizaines de kilomètres carrés du bassin d'alimentation de la source. Depuis quelques années, les pompes à chaleur permettent d'extraire quelques degrés de débits d'eau importants et d'injecter de la chaleur dans un chauffage à distance avec une température assez élevée. Ainsi une seule source karstique peut en principe chauffer plusieurs milliers de logements !



La glacière de Monlési, une anomalie thermique froide

Les études effectuées au cours de dix dernières années nous ont permis de bien comprendre le climat des grottes. La glacière de Monlési, qui renferme le glacier souterrain le plus important du Jura, est-t-elle un cas à part ?

En fait, de nombreuses grottes présentent des zones plus froides que la normale. On trouve classiquement trois situations :

1) Il peut s'agit de pièges à air froid avec une entrée descendante, où l'air froid et dense descend pendant l'hiver pour remplacer l'air de la grotte et où en été l'air frais de la cavité ne s'échange que très peu avec l'air extérieur.
2) Il peut d'agir d'une grotte ventilée, avec deux entrées ou plus, où la zone de l'entrée inférieure est généralement refroidie par l'air froid qui y pénètre en hiver, alors qu'en été, le courant d'air s'inverse et, c'est alors l'air tempéré (mais pas chaud) de la grotte qui circule à cet endroit.
3) L'accumulation de neige en hiver, peut, elle aussi, représenter une source de froid qui influence la température de manière mesurable.

La glacière de Monlési cumule ces trois éléments. Ainsi, l'anomalie est telle que la température moyenne y est inférieure à zéro degré, provoquant le gel des infiltrations d'eau et donc la formation de la glace.

C'est donc avant tout la géométrie naturelle du site qui permet un refroidissement local assez prononcé.

Pierre-Yves Jeannin
Directeur
pierre-yves.jeannin@isska.ch

Marc Luetscher
Directeur adjoint
marc.luetscher@isska.ch

Activités 2024

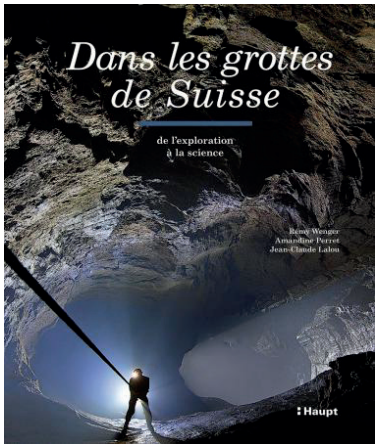
Nos activités sont organisées en cinq secteurs distincts, qui parfois se recoupent : la science, le geocomputing, le patrimoine, l'enseignement, l'archéozoologie et les projets liés au Fonds national de la recherche. S'y ajoutent l'administration et les relations publiques.

Nous présentons ici quelques éléments de ces secteurs qui ont marqué cette année 2024.

ENSEIGNEMENT

De l'exploration à la science... dans les grottes de Suisse

27 ans après la parution de « Karst et Grottes de Suisse » d'Andres Wildberger et Christian Preiswerk, un nouveau livre dresse le portrait de la Suisse souterraine. L'ouvrage, débuté l'année dernière, est paru, comme prévu, en septembre 2024 aux éditions Haupt Verlag AG. Il est disponible en librairie, notamment auprès de la librairie de la SSS, ou directement auprès de l'éditeur. Les premiers retours sont enthousiastes, qu'il s'agisse de la diversité des thématiques couvertes ou de la qualité des illustrations - que nous devons en bonne partie aux nombreuses contributions des spéléos photographes suisses.



Cours, conférences et excursions

L'ISSKA a pu intervenir auprès de 990 personnes pour sensibiliser, expliquer ou interroger sur le thème du karst et de l'environnement souterrain. En plus de ce nombre particulièrement élevé cette année, l'ISSKA est intervenu, à l'occasion des journées nationales de la spéléologie, lors d'un événement aux grottes de Milandre qui a rencontré un vif succès, attirant plus de 1000 visiteurs dans la cavité. Cet événement était organisé par le Spéléo Club du Jura. L'ISSKA y tenait un stand et a renseigné les curieux sans interruption durant toute la journée.

ARCHÉOZOOLOGIE

Les grottes du Vanil blanc dans le Haut-Intyamon (Fribourg)

Dans les alpages du Vanil Blanc les spéléologues de Fribourg ont fait la découverte d'une étonnante cavité, le trou de la Fève, renfermant une quantité importante d'ossements. Ces ossements ne sont pas découverts en bas de puits ou dans des galeries fossiles mais le long d'un petit cours d'eau souterrain. Il semble même qu'ils ont été déposés principalement entre -75 m et -100 m. cette découverte est assez surprenante puisque les os sont bien conservés alors que l'influence du cours d'eau aurait dû les éroder, fracturer ou les émousser mais il n'en n'est rien. Notre hypothèse est que ces os étaient pris dans une matrice argileuse et que lors d'un/des épisodes de crues, il y a eu un soutirage en amont libérant une quantité importante de sédiments qui furent alors charriés par le cours d'eau. Il y a donc un site paléontologique inconnu en amont.

Les ossements découverts dans le site sont également très intéressants, on y retrouve de l'ours brun, essentiellement des individus juvéniles, mais également du cerf élaphe, de la martre, de l'hermine, du lièvre, de l'écureuil, et des oiseaux dont un crâne complet de corneille noire. Des espèces domestiques ont également été trouvées à la base du 1er puits, ces animaux sont tombés plus récemment dans le gouffre et sont indépendants de l'ensemble fossile découvert dans le reste de la grotte. Il s'agit de restes de chien et de bouquetin avec une date pour le chien à 338±22 BP (*Before Present*), qui nous montre que le puits d'entrée était encore actif il y a plus de 300 ans alors qu'il était obstrué lors de la découverte il y a quelques années. Les espèces sauvages sont plus vieilles avec un âge compris entre 7830 ans BP (cerf) et 6275 ans BP (ours).

Entrée du trou de la fève (Fribourg).

Cette découverte est d'autant plus intéressante que dans le même secteur deux autres cavités ont livré des restes de cerf élaphe dont une a été datée à 6568 ans BP soit quasi contemporain du cerf du Trou de la fève. Ces données nous informent donc sur la faune présente à cette époque et également sur la végétation et le climat. Le Vanil Blanc était donc partiellement recouvert de forêts dans un climat tempérée il y a environ 7000 ans, semblable au climat actuel.

VISUALKARSYS.COM

Une application plus stable et plus performante !

L'application visualkarsys.com compte désormais plus de 1600 utilisateurs et nombreux sont ceux qui suivent les cours en ligne dispensés tous les deux mois environ.

En 2024, les développements se sont concentrés autour de trois thématiques : (i) améliorer le module de simulation des traceurs et contaminants, (ii) augmenter les performances de calcul et (iii) renforcer la stabilité de l'application.

Le module « tracers & contaminants » permet de saisir des connexions hydrogéologiques démontrées par traçage, mais aussi de reproduire dynamiquement les modalités d'écoulement des traceurs ou d'éventuels contaminants injectés en un point ou épandus sur une surface donnée. Ce module, financé par l'Etat du Valais, permet de visualiser directement

les circulations souterraines supposées et de comprendre les cheminements, parfois complexes, de certaines substances, entre la surface et le ou les exutoire(s) considéré(s).

Le centre de calcul de l'application, qui permet notamment de générer les modèles géologiques 3D, les rendus 3D autour des sondages ou des galeries et les profils a été entièrement repensé et réécrit afin d'accélérer l'ensemble des processus calculatoires. Les temps de calcul ont été divisés par 3 en quelques mois à peine et les perspectives permettent d'espérer des gains encore plus importants. Ces développements sont financés par swisstopo via un projet de trois années. A terme, le « GeoCruncher » pourra être proposé comme un centre de calcul web pour tous types de processus géostatistiques.

Des efforts ont aussi été apportés sur la stabilité de l'application via l'utilisation d'une nouvelle structure logicielle coté server. Bien que transparents pour l'utilisateur, ces changements sont considérables et permettent désormais un développement plus modulaire de l'application.

En parallèle, des améliorations ont été apportées sur le module de création et d'édition des failles, et sur des aspects de design et d'expérience utilisateurs. Les bugs, inhérents à une application aussi complexe, sont régulièrement corrigés et une nouvelle version de visualkarsys.com est mise en ligne toutes les deux semaines en moyenne. Les utilisateurs peuvent donc découvrir régulièrement de nouvelles fonctionnalités et constater les améliorations substantielles dans les opérations courantes.

Pour 2025, les perspectives d'application et de développement sont réjouissantes. Une application pilote est déjà prévue sur le site des eaux minérales d'Henniez (VD) dans le cadre d'un projet financé par Nestlé Waters, et d'autres développements sont en discussion avec différents partenaires.

PATRIMOINE

Assainissement de dolines

Les assainissements de sites karstiques ont occupé l'ISSKA du côté d'Ollon cette année, marquant le début d'un projet de 3 à 4 ans entrepris par la Commune avec le soutien du Canton (DGE-GEODE). L'objectif est d'assainir toutes les dolines polluées du territoire communal. Après le quartier des Ecovets, les hameaux de Panex et de Plambuit se verront investis par les équipes forestières, des volontaires d'écoles internationales et des collaborateurs et collaboratrices de l'ISSKA pour venir à bout des déchets.

Travaux en cours dans les dolines des Ecovets, Commune d'Ollon.

Biodiversité

Cette année a également été rythmée par deux projets sur la biodiversité. L'un se déployait à une échelle cantonale et clôturait une période de 4 années de recherches et observations autour de la faune troglobie neuchâteloise dans une sélection de cavités, parmi lesquelles les bien connues grotte de Vers-chez-le-Brandt et gouffre de la Tourne. Le second projet établissait une vue nationale des inventaires existant des espèces cavernicoles observées en Suisse, intégrant des analyses d'ADN environnemental effectuées en collaboration avec l'Université de Neuchâtel.

Le Trichaphaenops jurassicus *est un coléoptère endémique des grottes du Jura.*

SCIENCE APPLIQUÉE

En marge des projets liés à l'énergie esquissés dans le focus du présent rapport, plusieurs projets concernaient la qualité des eaux. Les zones de protection des captages d'eau potable en région karstique sont délimitées depuis la fin des années 1990 en appliquant une méthode nommée EPIK. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) travaille depuis plusieurs années à la révision de cette méthode que nous avons concrétisée en la testant sur plusieurs exemples et en rédigeant le document définitif qui sera publié officiellement début 2025. Le même office nous a sollicité pour évaluer dans quelle mesure les captages d'eau potable en région karstique sont moins pollués par des pesticides qu'ailleurs. L'étude, basée sur les bonnes connaissances des bassins karstiques du Jura bernois et du canton de Soleure, a permis d'évaluer la situation pour l'ensemble du Jura suisse. Elle montre que seuls quelques pourcents des captages sont touchés par cette problématique, alors que la majorité des captages du Plateau suisse ne répondent plus aux nouvelles normes dans ce domaine. Dans ce contexte, nous avons poursuivi la caractérisation des réserves d'eaux souterraines karstiques suisses en vue d'identifier les ressources potentiellement exploitables pour remplacer les captages les plus pollués.

Mesure de température, conductivité et estimation du débit d'un groupe de sources à Balsthal.

Sur la question des instabilités en régions karstiques, nous avons mis à jour la carte des dangers d'effondrement du canton de Neuchâtel, terminé les mesures de terrain permettant de comprendre l'abaissement marqué d'une partie de la ville de Muttenz (BL), terminé l'édition d'une brochure sur l'évaluation et la gestion des effondrements en milieu karstique pour le canton de Vaud et évalué les problèmes liés aux phénomènes karstiques lors de la construction de plusieurs tunnels dans les cantons de Neuchâtel, Vaud et Berne.

Comptes et bilan

COMPTE DE RESULTAT DE L'EXERCICE	2024	2023
	CHF	CHF
Mandats	913 655,12	898 836,28
Subventions	329 538,68	183 520,40
Projet FNS	210 174,20	176 719,16
Soutien de la Loterie Romande	13 750,00	33 750,00
Ventes	3 410,10	4 852,97
Dons	24 256,36	19 416,27
Autres produits	7 244,60	27 491,44
TVA	(5 453,86)	(2 920,48)
Attribution du ducroire	0,00	0,00
Total des produits	**1 496 575,20**	**1 341 666,04**
Sous-traitance	(196 342,48)	(154 281,28)
Charges projet FNS	(29 193,94)	(51 387,29)
Matériel durable	(61 775,53)	(2 702,02)
Frais d'impression	(1 734,32)	(2 276,88)
Consommables	(93 044,98)	(61 433,86)
Frais de déplacement	(23 529,70)	(15 446,94)
Autres frais généraux	(32 288,39)	(53 924,78)
Marge brute I	**1 058 665,86**	**1 000 212,99**
Frais de personnel	(973 311,10)	(915 799,22)
Marge brute II	**85 354,76**	**84 413,77**
Frais de locaux	(39 722,17)	(30 170,00)
Assurances commerciales	(4 509,60)	(4 590,30)
Frais généraux administration	(4 600,00)	(3 600,00)
Résultat d'exploitation avant intérêts, charges et produits hors exploitation	**36 522,99**	**46 053,47**
Produits financiers	970,60	762,75
Charges financières	(1 500,24)	(1 816,22)
Résultat de l'exercice avant attribution au fonds de réserve	**35 993,35**	**45 000,00**
Attribution au fonds de réserve	0,00	0,00
EXCEDENT DE (DEPENSES) / RECETTES	**35 993,35**	**45 000,00**

BILAN AU 31 DECEMBRE	2024	2023
	CHF	CHF
ACTIF		
Actif circulant		
Trésorerie et actifs cotés en bourse détenus à ct		
▪ liquidités	324 193,93	240 562,91
▪ titres cotés à court terme	10 214,12	8 128,42
Créances résultant de ventes de biens et de prestations de services envers des tiers, net	313 193,30	233 891,83
Autres créances à court terme envers des tiers	995,16	0,00
Prestations de services non facturées		
▪ travaux en cours	94 517,62	54 637,67
Actifs de régularisation	3 010,00	3 010,00
	746 124,13	**540 230,83**
Actif immobilisé		
Immobilisations financières	1 569,49	1 562,68
Immobilisations corporelles, net	0,00	2 072,01
Total actif immobilisé	**1 569,49**	**3 634,69**
TOTAL DE L'ACTIF	**747 693,62**	**543 865,52**

BILAN AU 31 DECEMBRE	2024	2023
	CHF	CHF
PASSIF		
Capitaux étrangers à court terme		
Dettes résultant de l'achat de biens et de prestations de services	29 230,76	22 169,25
Dettes à court terme portant intérêt	10 000,00	10 000,00
Autres dettes à court terme envers des tiers	54 223,60	29 384,99
Passifs de régularisation	302 887,03	251 952,40
	396 341,39	**313 506,64**
Capitaux étrangers à long terme		
Dettes à long terme portant intérêt	30 000,00	40 000,00
	30 000,00	**40 000,00**
Capitaux propres		
Capital de dotation	355 000,00	260 000,00
Fonds de réserves	120 000,00	120 000,00
Excédent de dépenses au bilan		
▪ excédent de dépenses reporté	(189 641,12)	(234 641,12)
▪ excédent de recettes	35 993,35	45 000,00
Total capitaux propres	**321 352,23**	**190 358,88**
TOTAL DU PASSIF	**747 693,62**	**543 865,52**

FIDUCONSULT ACTA

Société fiduciaire d'expertises et de révision – Conseils juridiques et fiscaux

Rapport de l'organe de révision sur le contrôle restreint au Conseil de fondation de ISSKA, Institut Suisse de Spéléologie et Karstologie, La Chaux-de-Fonds

En notre qualité d'organe de révision, nous avons contrôlé les comptes annuels (bilan, compte de résultat et annexe) de ISSKA, Institut Suisse de Spéléologie et Karstologie pour l'exercice arrêté au 31 décembre 2024.

La responsabilité de l'établissement des comptes annuels incombe au Conseil de fondation alors que notre mission consiste à contrôler ces comptes. Nous attestons que nous remplissons les exigences légales d'agrément et d'indépendance.

Notre contrôle a été effectué selon la Norme suisse relative au contrôle restreint. Cette norme requiert de planifier et de réaliser le contrôle de manière telle que des anomalies significatives dans les comptes annuels puissent être constatées. Un contrôle restreint englobe principalement des auditions, des opérations de contrôle analytiques, ainsi que des vérifications détaillées appropriées des documents disponibles dans l'entité contrôlée. En revanche, des vérifications des flux d'exploitation et du système de contrôle interne ainsi que des auditions et d'autres opérations de contrôle destinées à détecter des fraudes ou d'autres violations de la loi ne font pas partie de ce contrôle.

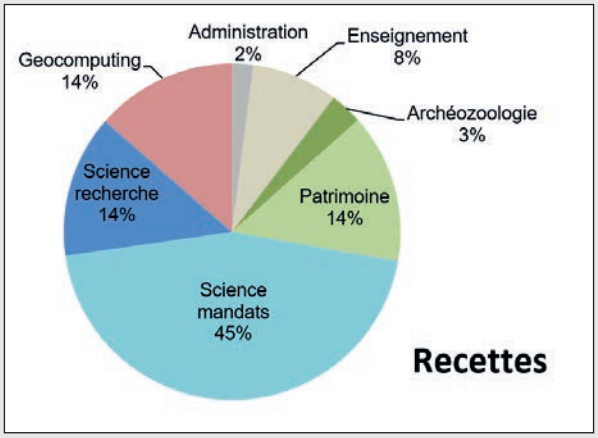
Lors de notre contrôle, nous n'avons pas rencontré d'éléments nous permettant de conclure que les comptes annuels ainsi que la proposition concernant l'emploi du bénéfice au bilan ne sont pas conformes à la loi suisse et à l'acte de fondation.

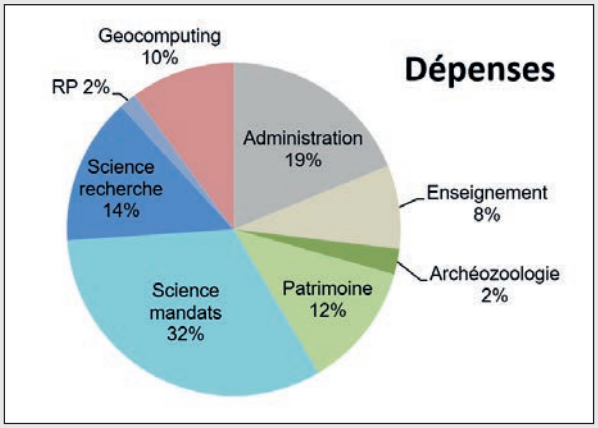
La Chaux-de-Fonds, le 7 avril 2025

FIDUCONSULT ACTA SA

Laszlo Kelemen
Expert-réviseur agréé
(Responsable du mandat)

Kevin Lombard
Réviseur agréée





Une année contrastée

L'année 2024 a commencé sur un rythme élevé qui nous incitait à réfléchir à de nouveaux engagements de personnel, en particulier dans la perspective du remplacement d'un de nos collaborateurs partant à la retraite. Quelques gros projets assuraient un travail de base à l'ensemble de l'équipe, à quoi s'ajoutaient de nombreux projets plus petits. En début d'année, l'annonce du soutien par le Fonds national de la recherche scientifique d'un nouveau projet de recherche sur les sédiments des grottes du Jura nous garantissait la venue de deux doctorants pour les 4 prochaines années, venant pile remplacer ceux qui terminaient leur thèse (projet sur la thermique des systèmes karstiques). Toutefois, pendant l'été la roue s'est quelque peu grippée. Un gros projet de modélisation 3D, représentant à lui seul presque 10% de notre budget sur plusieurs années, devait être stoppé, puis même annulé, avant même son démarrage réel. D'autres projets importants tardaient à démarrer ou étaient carrément mis en veilleuse. Dans le courant de l'automne, deux collaborateurs se trouvaient ainsi quelque peu sous-occupés. La perspective d'engager du personnel s'envolait et il a fallu déployer des efforts pour trouver du travail pour tout le monde.

Au final, l'année s'est toutefois terminée de manière plus positive et le rythme très élevé du premier semestre a compensé le calme relatif de la fin de l'année. Le bénéfice d'exploitation était finalement de l'ordre de 70'000.-, ce qui représente un exercice très honorable et nous permet de suivre notre programme de compensation des pertes effectuées en 2022.

C'est donc dans un contexte plutôt tendu que le budget 2025 a été préparé, avec une part d'incertitude plus importante que 12 mois plus tôt, mais une situation financière globale améliorée. Dès l'automne, nous avons déployé de l'énergie pour explorer de nouvelles pistes. En début d'année, seul 1/3 de notre budget était considéré comme sûr (avec des contrats signés), ce qui était peu par rapport à la plupart des années précédentes. A fin mars 2025, le taux est monté à 63% et nous avons bon espoir de parvenir à atteindre approximativement les montants budgétisés, mais nous ne pouvons pas relâcher nos efforts...

Le développement des affaires résulte principalement de projets liés à la gestion de l'eau, au percement de tunnels et au développement des énergies renouvelables (éolien, hydroélectricité et solaire). Ils ouvrent des perspectives nouvelles très intéressantes pour notre institut, s'ajoutant à nos activités habituelles (recherche, enseignement, sensibilisation, assainissements de sites). Nous espérons aussi parvenir à poursuivre le développement de l'aspect biologie souterraine.

Une difficulté récurrente pour la gestion d'un institut comme le nôtre est la variabilité très importante des délais entre un signal positif sur un projet, indiquant une probabilité élevée qu'un contrat soit signé et le début réel des travaux et la première facture qui en résulte... Il se passe généralement des mois, mais assez souvent plus d'une année... Il faut donc une certaine expérience et agilité pour adapter la gestion du travail au sein de nos équipes !

Pierre-Yves Jeannin, directeur

L'Institut suisse de spéléologie et de karstologie en quelques mots

L'ISSKA en bref

L'ISSKA, fondation d'utilité publique à but non lucratif, a été créé en février 2000 à l'initiative de la Société suisse de spéléologie. Le siège de l'ISSKA se trouve à La Chaux-de-Fonds.
L'ISSKA collabore avec les EPF et différentes universités de Suisse et de l'étranger.

L'ISSKA pourquoi et pour qui ?

L'ISSKA a pour but d'épauler les administrations et bureaux d'étude dans les domaines spécifiques du karst et du milieu souterrain. Il met à disposition un centre de compétence unique. Grâce à son réseau de partenaires et de collaborateurs, il est à même de faire appel aux meilleurs spécialistes suisses et européens dans ces domaines.
L'ISSKA peut être mandaté en tant que partenaire, sous-traitant, ou en qualité d'expert, selon le type d'étude.
En recherche fondamentale, les domaines d'études vont de la climatologie souterraine à l'hydrogéologie ou la spéléogenèse, en passant par l'archéo-zoologie en grotte. Ces projets sont menés dans le cadre de thèses de doctorat ou de diplômes universitaires ; l'ISSKA en assure la direction scientifique, la coordination et le suivi, en collaboration avec les milieux académiques concernés.

Domaines d'activités

- Recherche scientifique fondamentale et appliquée
- Geocomputing
- Protection du patrimoine karstique
- Enseignement et sensibilisation
- Archéozoologie

Membres du Conseil de fondation

Borer Paul (Canton de Berne)
Cailhol Didier (Spéléo Club Jura)
Deriaz Patrick (individuel)
Grossenbacher Yvan (SC Préalpes fribourgoises)
Häuselmann Anamaria (SSS, Commission scientifique)
Hug Peter Dorothea (Académie Suisse des Sciences naturelles)
Lalou Jean-Claude (Sublime)
Malaguerra Flavio (Office fédéral de l'environnement / OFEV)
Martin Suzette (SGH-Basel)
Meier Hansrudolf (Société suisse de spéléologie)
Perrochet Pierre (Canton de Neuchâtel)
Roth Edouard (Canton du Jura)
Schneider Pierre (Ville de La Chaux-de-Fonds)
Stünzi Hans (AGS-Regensdorf)
Wildberger Andres (individuel)
Vacant (AG-Höllochforschung)

Publications 2024

International

Bartolomé, M., Luetscher, M., Stoll, H., Moreno, A., & Benito, G. (2024). Extreme flood events in the western Mediterranean : Integrating numerical MODelling and flood records in KARST systems (MODKARST project). Geogaceta, 75, 95-98. https://doi.org/10.55407/geogaceta100997.

Calvet, M., Gunnell, Y., Delmas, M., Braucher, R., Jaillet, S., Häuselmann, P., Delunel, R., Sorriaux, P., Valla, P. G., & Audra, P. (2024). Valley incision chronologies from alluvium-filled cave systems. Earth-Science Reviews, 258(104963), 40 p. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104963.

Giménez, R., Moreno, A., Luetscher, M., Ezquerro, L., Delgado-Huertas, A., Benito, G., & Bartolomé, M. (2024). Mitigating flood risk and environmental change in show caves : Key challenges in the management of the Las Güixas cave (Pyrenees, Spain). Journal of Environmental Management, 370, 122285. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122285.

Klaba, V., Celle, H., Trap, P., Choulet, F., Smeraglia, L., Malard, A., & Carry, N. (2024). Multi-scale hydrostructural approach for karst environment. Application to the Arcier hydrosystem (eastern France). Journal of Structural Geology, 184, 105154. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2024.105154.

Pastore, C., Sedaghatkish, A., Weber, E., Schmid, N., Jeannin, P.-Y., & Luetscher, M. (2024). Monitoring air fluxes in caves using digital flow metres. International Journal of Speleology, 53(1), 63-73. https://doi.org/10.5038/1827-806X.53.1.2500.

Pastore, C., Weber, E., Doumenc, F., Jeannin, P.-Y., & Lütscher, M. (2024). Dispersion of artificial tracers in ventilated caves. International Journal of Speleology, 53(1), 51-62. https://doi.org/10.5038/1827-806X.53.1.2497.

Sedaghatkish, A., Doumenc, F., Jeannin, P.-Y., & Luetscher, M. (2024). Modelling the effect of free convection on permafrost melting rates in frozen rock clefts. The Cryosphere, 18(10), 4531-4546. https://doi.org/10.5194/tc-18-4531-2024.

Sedaghatkish, A., Pastore, C., Doumenc, F., Jeannin, P., & Luetscher, M. (2024). Modeling Heat Transfer for Assessing the Convection Length in Ventilated Caves. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 129(6), e2024JF007646. https://doi.org/10.1029/2024JF007646.

Spötl, C., Baker, J. L., Skiba, V., Honiat, A., Fohlmeister, J., Luetscher, M., & Trüssel, M. (2024). Speleothems in subglacial caves : An emerging archive of glacial climate history and mountain glacier dynamics. Quaternary Science Reviews, 333(108684), 20 p. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108684.

National / régional

Lüthi, C. (2024a). Das Höhlentier des Jahres 2025. L'Animal Cavernicole de l'Année 2025. Stalactite, 2(74), 35-39.

Lüthi, C. (2024b). Die CaveLife-App – eine Tour d'Horizon. L'appli CaveLife – un tour d'horizon. Stalactite, 2(74), 55-63.

Jeannin, P. Y. (2024a). Inventaire spéléologique du canton de Neuchâtel, la grotte de Prépunel. Cavernes, 68, 12-16.

Jeannin, P. Y. (2024b). Inventaire spéléologique du canton de Neuchâtel, la grotte du Seyon. Cavernes, 68, 20-23.

Jeannin, P. Y. (2024c). Réflexions sur la topographie souterraine... à partir de l'exemple de Prépunel. Cavernes, 68, 17-19.

Wenger, R., Perret, A., Lalou, J.-C. (2024). Dans les grottes de Suisse. 239 p. Haupt Verlag.

Actes

Ortler, M., Moernaut, J., Rechenmacher, J., Franco, A., Häuselmann, P., Neumair, L., Strachwitz, M., & Heine, E. (2024). Signals of two earthquakes at Lake Altaussee (Salzkammergut, Austria). Proceedings, Abstract.

L'ISSKA vit aussi grâce à vos dons

Vos dons nous permettent par exemple de dater des os, dépolluer des cavités ou faire connaître le karst et les grottes dans les écoles. Ils nous soutiennent aussi pour le suivi de diplômes et de thèses, ainsi que pour fournir un soutien scientifique aux spéléos suisses qui le demandent.
Notre compte: CH12 8080 8004 4839 3207 3, ISSKA, Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie
Une attestation de don pour vos déductions d'impôts vous sera envoyée automatiquement.

Institut suisse de spéléologie et de karstologie
Rue de la Serre 68
CH-2300 La Chaux-de-Fonds
Tél. +41 (0)32 913 35 33
info@isska.ch
www.isska.ch