

ISSKA
SISKA
ISSCA
SISKA



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 2023



FOCUS

**Événements extrêmes
en milieu karstique**

S O M M A I R E

FOCUS

ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES EN MILIEU KARSTIQUE

- 4 Karst & changements climatiques
- 5 Impact des sécheresses sur le karst et sur les réserves en eau souterraine
- 9 Les pluies exceptionnelles et leurs effets sur le karst
- 11 Le karst comme source d'énergie

Activités diverses

- 12 Un aperçu des autres activités de l'Institut

Varia

- 14 Publications
- 14 Collaborateurs
- 15 Comptes & bilan



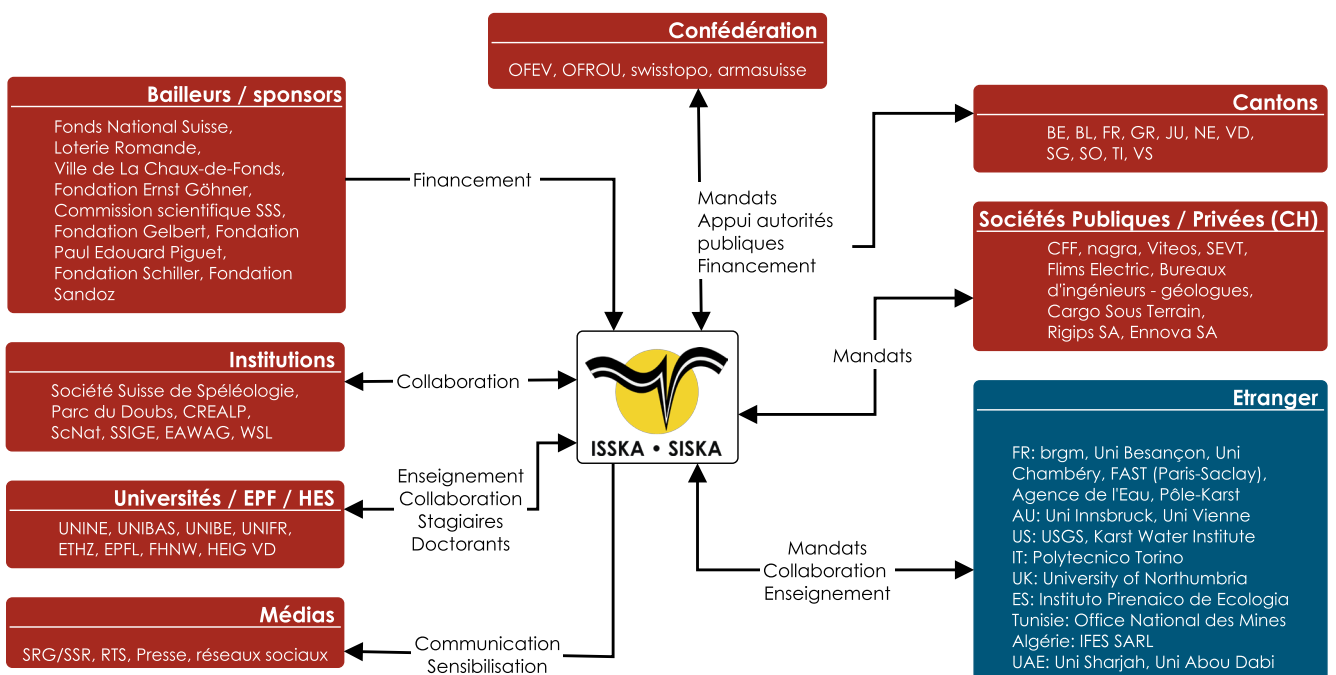
@isska.siska



@isska.siska



Les principaux partenaires de l'ISSKA en 2023



Editorial



Le karst : où climat et géologie se rejoignent

Le temps géologique et le temps des changements climatiques anthropogènes sont diamétralement différents. Le karst a mis des dizaines de millions d'années pour se constituer alors qu'aujourd'hui le climat mondial change à l'échelle de quelques décennies.

Les activités humaines sont pourtant directement concernées à la rencontre de ces deux échelles. Sur le relief karstique jurassien ou des Préalpes, les précipitations étaient fréquentes en toutes saisons avant l'augmentation actuelle des températures. Les sociétés humaines s'étaient établies en récoltant et en stockant l'eau qui leur était nécessaire et en pouvant surtout compter sur celle qui tombait régulièrement pour irriguer forêts et pâturages, et pour renouveler l'approvisionnement des cours d'eau souterrains et de surface.

Désormais on découvre des épisodes de sécheresse qui s'intensifient et deviennent plus fréquents. Surtout, les températures plus élevées provoquent une évaporation accrue qui, en se conjuguant avec des périodes aux pluies rares, modifie les équilibres des écosystèmes naturels et cultivés. A l'autre bout du spectre, les événements de précipitations intenses, avec leur lot de dégâts, d'inondations, de laves torrentielles, se renforcent également.

A ces tendances s'ajoutent les impacts directs de l'industrialisation des activités humaines. Pas toujours évident de distinguer la part des unes et des autres.

La neige est devenue rare en-dessous de 1500 mètres et la limite va continuer son ascension de plus en plus rapidement. C'est toute la saisonnalité du régime de l'approvisionnement en eau qui s'en trouve bouleversé avec le risque de faire face désormais non pas seulement à des étés secs, mais aussi à des printemps secs. Les glaciers jurassiens sont appelées à disparaître comme les glaciers alpins.

Le réchauffement induit des changements dans la couverture végétale qui modifient déjà le cycle du carbone de manière visible, comme on peut le voir dans les stalagmites. Même la dissolution des calcaires s'est accélérée de plus de 10% au cours des 50 dernières années, comme l'indiquait une étude publiée par l'ISSKA en 2016.

L'environnement karstique, aux caractéristiques particulières et fascinantes, est très directement concerné par les changements climatiques anthropogènes. Il mérite d'être mieux compris et le contenu du présent rapport vous introduit à différents aspects de ces liens.

Prof. Martine Rebetez

Climatologue, Université de Neuchâtel et Institut fédéral de recherches WSL

EVÉNEMENTS EXTRÊMES EN MILIEU KARSTIQUE

Karst & changements climatiques

Le changement climatique n'est qu'un aspect du « Global change », c'est-à-dire de l'ensemble des incidences des actions humaines sur la globalité de la planète. En effet, l'humain « gratte » la surface de la planète un peu partout, y dépose des déchets, y pollue les eaux ou encore y a remplacé des surfaces naturelles de forêts et de steppes par des zones cultivées ou urbanisées. Ces changements touchent évidemment aussi le milieu karstique. En quelques pages, nous illustrons les effets du changement climatique au travers de nos activités, plus particulièrement liées aux sécheresses et événements de crue qui s'accroissent. Nos travaux relèvent pour partie du constat de l'évolution du climat, mais aussi beaucoup de l'adaptation que ces changements impliquent pour notre société, y compris la production d'énergie locale et sans production de CO₂.



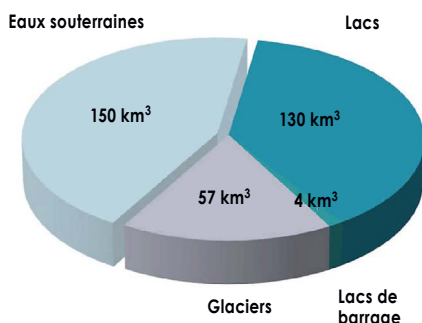
Source de l'Arvoux (NE), normalement noyée dans le lac des Brenets, le 29 septembre 2023.

Impact des sécheresses sur le karst et sur les réserves en eau souterraine

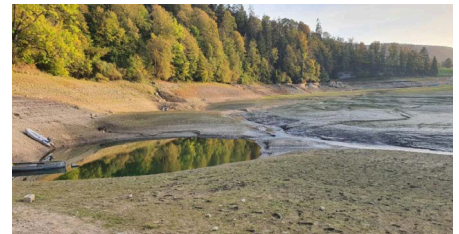
Le climat se réchauffe et les étés caniculaires sont de plus en plus torrides et fréquents.

Cette chaleur estivale impacte la végétation qui doit s'adapter, mais aussi les cours d'eau, en particulier les lacs, où l'évaporation directe dépasse le débit entrant par les rivières. Par exemple, le lac de Neuchâtel est déficitaire de quelques m³/s pendant l'été. La végétation, pour survivre, consomme une quantité d'eau très élevée, augmentant les besoins d'irrigation de 5 à 10 fois pour maintenir une activité agricole normale (Fuhrer, 2012). Ainsi, le débit des cours d'eau s'abaisse notablement, nombre d'entre eux n'étant alors plus nourris que par les rejets des stations d'épuration, qui leur assurent un débit minimum régulier.

Pour alimenter la population, on utilise de l'eau issue de différents réservoirs naturels de notre pays. Le réservoir le plus utilisé est celui des eaux souterraines dont le volume total (~150 km³) dépasse celui des rivières et des lacs (~130 km³). Ces réserves d'eau souterraine ne sont par ailleurs pas directement influencées par les sécheresses en surface. C'est donc la ressource principale d'alimentation



Volumes d'eau douce des différents réservoirs de notre pays. Avec 150 km³, les eaux souterraines représentent le réservoir principal. Tiré de Sinreich et al 2012.



La source de l'Arvoux en 1906 (en haut à gauche) et le 10 octobre 2023. À cette date, la situation semble s'approcher de celle de 1906.

en eau potable de notre pays (~80%). Les lacs représentent une ressource qui est de plus en plus sollicitée en complément aux eaux souterraines, non seulement pour l'eau potable, mais aussi pour l'irrigation.

Chacun l'aura compris, en période de sécheresse les besoins augmentent et l'offre diminue. Notre pays doit donc s'adapter aux changements climatiques pour garantir au mieux la distribution d'eau à toute la population et à la production agricole. C'est dans ce contexte que l'ISSKA est sollicité, ce que nous illustrerons au travers de trois études.

L'assèchement du lac des Brenets

Les images des assècs du lac des Brenets ont fait largement le tour des médias de Suisse et d'ailleurs. Situé au fond des Gorges du Doubs, le long de la frontière franco-suisse, la masse tassée qui a formé le Saut du Doubs, il y a environ 14'000 ans, a créé un barrage naturel qui présente des fuites. Celles-ci induisent la vidange presque complète du lac si, lors d'années sèches, le débit entrant est inférieur au débit des pertes.

Deux compagnies de navigation y emmènent plusieurs centaines de milliers de touristes chaque année, ce qui n'est plus possible lors des assècs. Vu les enjeux économiques, diverses propositions ont été formulées pour colmater le lac. D'autres avis défendent une position plus naturaliste, estimant inutile d'agir dans la

mesure où il est vain d'essayer de lutter contre un phénomène qui sera à terme inéluctable... Un groupe transfrontalier s'est alors constitué pour discuter de la manière d'agir.

Dans ce contexte notre proposition a été de rassembler des données aussi objectives que possibles pour évaluer les débits entrants, sortants et leur évolution ainsi que la configuration des pertes (diffuses ou concentrées).



Le Lac des Brenets se trouve sur la frontière franco-suisse, le long du Doubs, une rivière située au cœur de la région karstique du Jura, où les rivières sont rares, l'essentiel de l'eau circulant sous terre.

A ce stade, l'ordre de grandeur des fuites a pu être évalué, mais des stations de mesure devront être installées pour obtenir des valeurs précises. La présence d'une importante source karstique située directement dans le lac ne facilite pas l'évaluation.

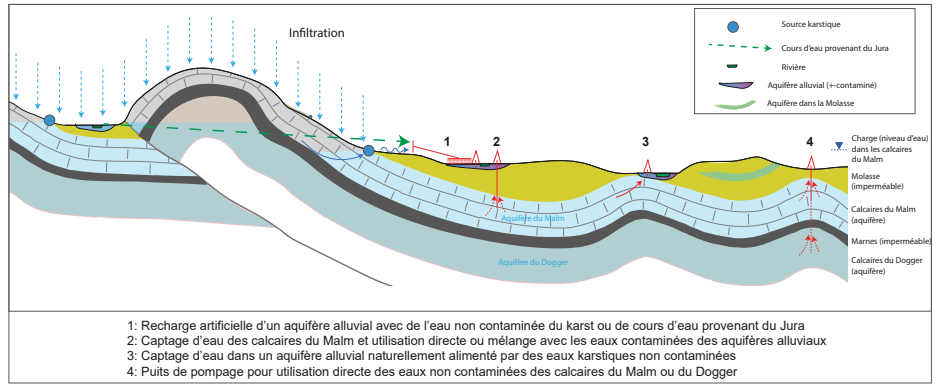
Nous avons aussi recherché si des assècs se sont déjà produits dans le passé. Par exemple, la période de 1977 à 2002 a présenté statistiquement moins d'étés très secs que les périodes précédente (1952-1976) et suivante (2003-2023). Par ailleurs, le Doubs présente des pertes de 2 à 5 m³/s à hauteur de Maison du Bois, environ 30 kilomètres en amont du lac. Mieux connaître le débit de ces pertes et les variations passées permettrait de quantifier l'eau arrivant au lac des Brenets. Faudrait-il agir plutôt à ce niveau-là que dans le fond du lac ?

Le développement urbain, le drainage des zones humides, l'apparition des stations d'épuration, l'industrie ou l'abreuvement de bétail sont autant d'autres éléments qui ont également pu influencer le débit entrant dans le lac.

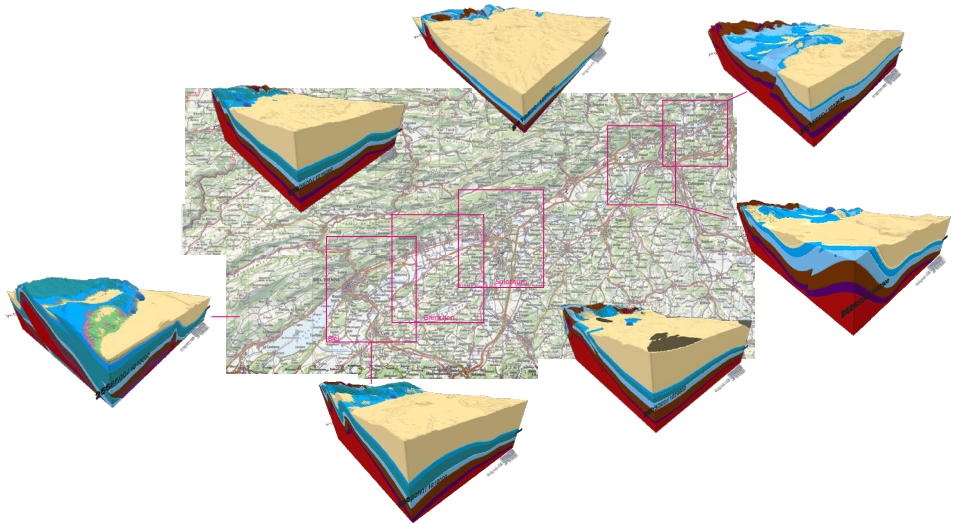
Tous ces éléments devront être comparés et mis en balance. C'est sur cette base que les éventuelles interventions pourront être évaluées par les politiciens, en considérant les aspects environnementaux, légaux, économiques et sociaux. Le processus prendra quelques années.

L'amélioration de l'alimentation en eau du pied du Jura

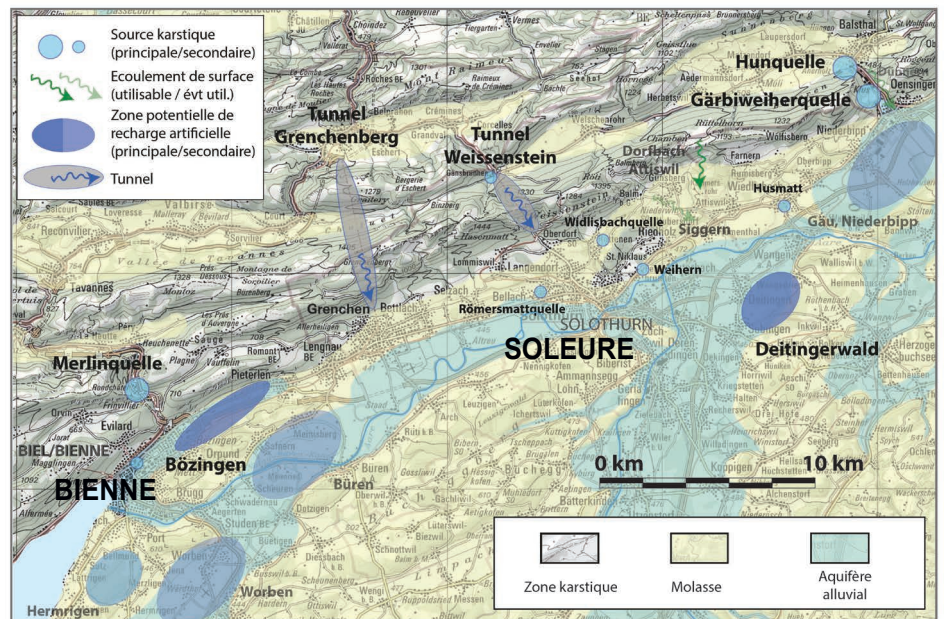
La région comprise entre Bienne et Olten présente à la fois une grande densité de population et une forte activité agricole, à quoi s'ajoute un important développement industriel. L'eau potable y est tirée depuis des décennies des nappes alluviales bordant l'Aar. Or ces zones sont intensément exploitées pour l'agriculture et peu à peu envahies par les zones industrielles. Les teneurs en polluants persistants (peu biodégradables, tels que les pesticides et les nitrates) atteignent souvent des valeurs qui dépassent les recommandations et même les valeurs limites. Il en résulte que certains captages d'eau doivent être abandonnés. La situation devient donc critique, particulièrement en



Profil hydrogéologique schématique de la limite entre le Jura, à gauche, et le plateau suisse (à droite). Les eaux de pluie s'infiltrent sur le Jura et remplissent les calcaires situés sous la molasse du plateau suisse. Les eaux du Jura contiennent peu ou pas de polluants persistants tels que les pesticides ou les nitrates et représentent donc un intérêt majeur pour de futures ressources d'eau potable.



Modèles 3D du sous-sol construits pour bien comprendre les structures géologiques reliant le Jura au plateau suisse.



Carte des ressources hydrogéologiques identifiées entre Bienne et Oensingen. Chacune de ces ressources a été évaluée en vue d'une exploitation future pour de l'eau potable.

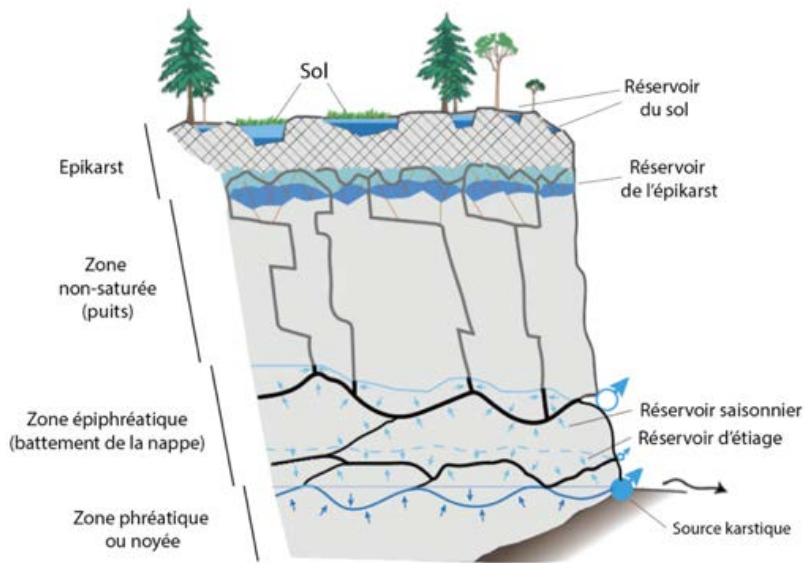


Schéma des différents réservoirs d'eau souterraine dans les milieux karstiques.
En sécheresse, seul le réservoir d'étiage fournit encore de l'eau à la source karstique.

période de sécheresse. Les cantons de Soleure et de Berne recherchent donc des ressources alternatives, en particulier issues des aquifères karstiques largement exempts de pesticides. C'est ainsi que le projet « KwT_w » pour « Karstwasser zu Trinkwasser » a vu le jour.

Dans ce cadre, nous avons construit des modèles géologiques en 3D et analysé tous les documents disponibles afin de bien comprendre l'organisation des couches du sous-sol et évaluer toutes les ressources potentielles le long du pied du Jura, plus particulièrement entre Bienne et Soleure. Nous avons aussi envisagé pouvoir récupérer et injecter sous terre des eaux coulant en excès pendant les périodes de crue pour pouvoir les repomper, typiquement 3 à 6 mois plus tard pendant les périodes de sécheresse. (suite p. 8)

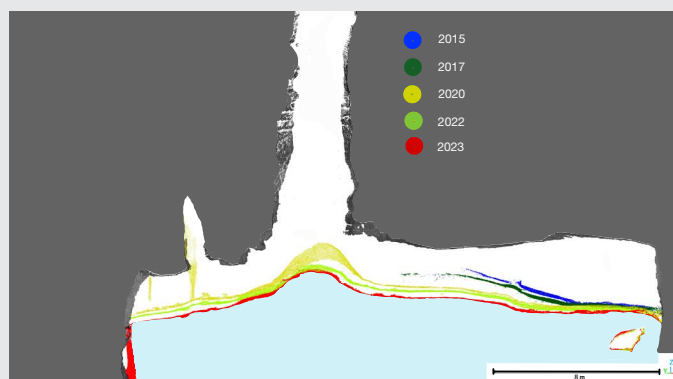
Comment les grottes réagissent-elles au réchauffement climatique ?

S'il est largement reconnu que la température des grottes demeure remarquablement stable, proche de la température moyenne annuelle extérieure à même altitude, la réponse thermique au changement climatique n'est que mal connue. Comment expliquer que, malgré un réchauffement marqué de l'atmosphère extérieure, les températures au fond du Bärenschacht n'aient pas évolué depuis 20 ans ? Comprendre comment les températures extérieures se propagent au sein d'une grotte est l'objet du projet Thermokarst, soutenu par le Fonds national suisse pour la recherche scientifique.

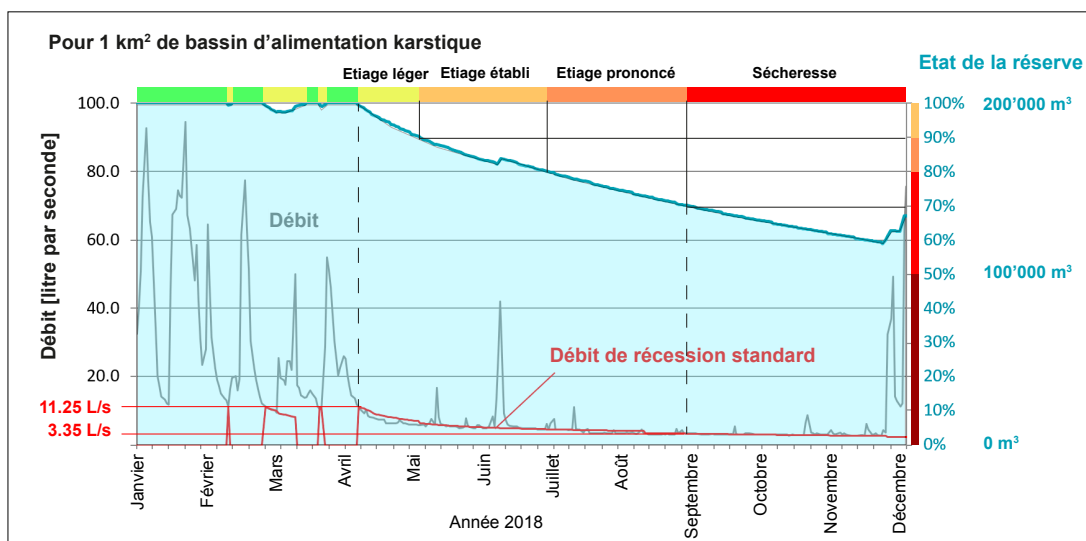
L'objectif de ce projet est de caractériser la réponse thermique d'un système karstique dans l'espace et dans le temps. Un accent particulier est mis sur le rôle des circulations d'air qui, selon certains modèles, jouent un rôle fondamental dans le transport de chaleur. Des simulations numériques validées par des mesures sur le terrain (grotte de Longeaigne, en particulier) ont permis de calculer la longueur de pénétration thermique pour différentes fréquences climatiques. Ces résultats sont importants pour l'interprétation des enregistrements climatiques dans les stalagmites, qui, en contrepartie, servent à valider les modèles climatiques futurs.

Dans la majorité des cas, l'impact du changement climatique sur le milieu souterrain n'est que faiblement perceptible à court terme. Un marqueur visible et spectaculaire reste, cependant, la présence de glace dans une cavité. Dans le Jura, la Glacière de Monlési a fait l'objet de nombreuses études scientifiques.

Un suivi pluriannuel du volume de glace révèle des fluctuations saisonnières de quelques dizaines de mètres cubes. Sur le long-terme, toutefois, une tendance marquée à la fonte est observée. Les mesures LIDAR effectuées en 2023 ont mis en évidence une fonte de 192 m³ de glace en l'espace d'une année. Cela représente environ 8% du volume de glace total et, à ce rythme, la glacière aura totalement disparu d'ici à 2040.



Reconstructions du volume de glace à la Glacière de Monlési entre 2015 et 2023. La glacière a perdu près de 200 m³ de glace en l'espace d'une année.



Exemple d'année sèche : le système karstique est entré en étiage (jaune) en avril et en sécheresse (rouge) à fin août. Le débit au moment d'entrer en sécheresse était de 3,35 litres par seconde pour chaque kilomètre carré de bassin alimentant la source. Le volume d'eau encore disponible dans la réserve était alors de 120'000 m³ par km² de bassin.

Quelques ressources entièrement nouvelles ont été identifiées et feront l'objet de compléments d'étude. Une dizaine de captages ou drainages existants pourraient être améliorés afin d'utiliser la ressource de manière optimale. Par exemple les tunnels de Granges et du Weissenstein évacuent des eaux souterraines dont une partie seulement est actuellement utilisée.

Par ailleurs des sites pour du stockage d'eau souterraine ont aussi été identifiés et nous avons bon espoir de trouver au moins un site pour envisager ce type d'infrastructure.

Nous nous réjouissons de voir comment ces investigations hydrogéologiques de base pourront contribuer à garantir l'approvisionnement en eau lors des sécheresses qui ne manqueront pas d'intervenir dans les décennies à venir.

d'une rivière descend au-dessous d'une certaine valeur, comme le définissent les hydrologues ? Si oui, cette valeur est-elle la même, que l'on soit au Säntis où il pleut plus de 2500 mm par an ou à Sierre (VS) où il pleut moins de 500 mm par an ? Probablement pas, car la notion de sécheresse semble relative aux conditions usuelles d'une région. L'essentiel des eaux potables de Suisse provenant des eaux souterraines, la définition des hydrogéologues présente elle aussi un intérêt assez évident...

Les eaux souterraines réagissent de manière décalée et atténuée aux sécheresses... Cependant, pour la gestion de celles-ci, il est fondamental de connaître l'état de remplissage des réserves souterraines. Ainsi, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), qui met progressivement en place un

système d'alerte pour les sécheresses, s'est-il adressé à l'ISSKA pour proposer une ou plusieurs manières de définir les sécheresses en région karstique.

L'étude d'un certain nombre de stations de mesure de ces régions, outre un problème méthodologique lié à la mesure du débit¹, a montré que la décroissance des débits suivait globalement toujours la même évolution pendant les sécheresses. Il a aussi été possible d'estimer à chaque instant le volume d'eau souterraine encore disponible pour les prochains 30, 60 ou 90 jours de sécheresse potentielle, permettant de proposer un indicateur assez général de l'état de sécheresse des aquifères karstiques de Suisse (figure ci-dessus).

¹ La plupart des stations de mesure n'ont pas été conçues pour des débits très faibles et l'incertitude sur les mesures est alors importante (souvent de l'ordre +/- 50%).

Détails sur ce projet ici:



La caractérisation des sécheresses en région karstique

Qu'est-ce qu'une sécheresse ? Est-ce simplement une période sans précipitations comme le définissent les météorologues ? Est-ce lorsque le débit



Les sources karstiques résistent assez bien aux périodes de sécheresse. Toutefois la diminution de leur débit en période de sécheresse peut induire l'assèchement des cours d'eau situés en aval. Cette situation, plutôt inhabituelle en Suisse, deviendra de plus en plus fréquente, en particulier dans le Jura.

Quelles sont les conséquences de l'assèchement des grottes ?

Les sécheresses sont souvent vues d'un bon œil par les spéléologues car elles leur permettent d'explorer à sec des galeries qui sont normalement sous l'eau. Toutefois, elles occasionnent un assèchement des grottes qui stresse notablement la faune souterraine, peu habituée à vivre dans un environnement où l'humidité de l'air n'est pas proche de 100%. La plupart des animaux vivant sous terre ne pouvant presque pas se déplacer, l'assèchement complet de certains points d'eau peut décimer entièrement une population qui peinera ensuite à se repeupler. Ce point est notamment étudié dans notre projet intitulé *Biodiversité dans le karst* (cf. p. 12 en bas).

Les sols sont souvent minces et perméables sur les calcaires. Ils renferment par conséquent une quantité d'eau assez limitée. La faune des sols et la végétation souffrent donc lors des périodes sèches. Les grands arbres couvrant le Jura n'y survivent que si les

précipitations sont suffisamment fréquentes, ce qui n'est plus le cas chaque année. Les forestiers ont donc d'ores et déjà commencé à replanter des espèces plus résistantes aux sécheresses.

En milieu urbain, les arbres souffrent également du manque d'eau et il conviendra de trouver un équilibre entre la plantation de végétaux pour limiter les îlots de chaleur et la consommation en eau nécessaire à maintenir cette végétation. Le concept de « ville-éponge » devra être adapté pour tenir compte de certaines caractéristiques particulières des villes en région karstique.

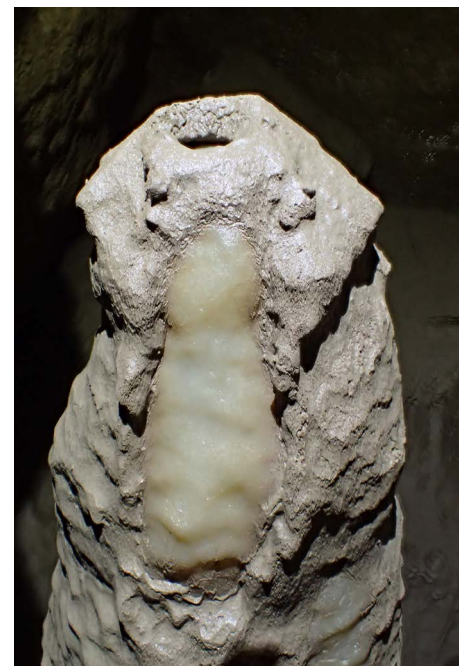
En plus du manque d'eau, la qualité de celle-ci peut être altérée en période d'étiage. C'est par exemple le cas dans la vallée de La Brévine où la dégradation des sols, accélérée par l'assèchement, produit davantage de matières organiques dans l'eau souterraine, la rendant impropre à la consommation !

Les pluies exceptionnelles et leurs effets sur le karst

Le changement climatique induit une augmentation de la fréquence des événements de crue très intenses. Différentes analyses montrent que globalement, le milieu karstique tend à atténuer les pics de crue en raison de la montée des eaux dans les réseaux karstiques (mises en charge) qui retient l'eau sous terre. Cependant, pour les événements extrêmes, la capacité d'infiltration des eaux dans le sous-sol est dépassée et l'eau ruisselle en surface. Par exemple, notre implication dans l'analyse de l'événement de la crue de juin 2021, qui avait dévasté le centre du village de Cressier (NE), indique assez clairement que, si pour des précipitation normales l'essentiel de l'eau s'infiltrait dans le sous-sol karstique, pour des événements extrêmes, la capacité d'infiltration des eaux est dépassée et l'eau se met à ruisseler en surface à certains endroits. Or ces caractéristiques de ruissellement, apparaissant très rarement et sont généralement mal prises en compte dans

les modèles hydrologiques. Des tests sur le terrain seraient nécessaires pour mieux comprendre à partir de quelle intensité de pluie les eaux ne parviennent plus à s'infiltrer dans le sous-sol.

Dans certains cas, la montée des eaux dans le sous-sol pendant les crues peut être très importante, dépassant facilement 50 ou 100 mètres et pouvant même atteindre parfois plusieurs centaines de mètres, plus de 300 m dans la grotte du Hölloch (Muotatal, SZ) par exemple. Outre l'inondation de parties de grottes qui semblent généralement plutôt sèches et fossiles, l'eau peut atteindre le niveau de certains ouvrages souterrains. C'est par exemple le cas du Tunnel du Gibet que nous avons monitoré près de Neuchâtel, où le niveau de l'eau est en principe situé 30 mètres sous le niveau du tunnel. Lors des crues de fin 2023, l'eau est montée 10 m plus haut que l'ouvrage, heureusement sans aucune conséquence. Mais que se passera-t-il si l'eau monte encore plus haut ?



Sédiments argileux déposés sur une stalagmite de la grotte de Milandre suite à une crue.

De telles remontées d'eau exceptionnelles peuvent aussi atteindre la surface du terrain et créer des sources temporaires à des endroits où il n'est pas usuel d'avoir de l'eau. Dans d'autres cas, l'eau n'atteint pas la surface, mais des couches de roches tendres qui sont alors érodées par-dessous, créant des dépressions ou même des effondrements brutaux. Cette situation est particulièrement critique en milieu urbain où il est souvent recommandé d'infiltrer les eaux des routes et des toits dans le sous-sol, créant souvent ce genre d'instabilités. Nous intervenons régulièrement sur des cas de tels effondrements et avons édité une brochure sur la prévention et la gestion de ce genre d'instabilités à la demande du service des dangers naturels du canton de Vaud.

Si l'eau monte dans les réseaux de grottes, elle y laisse aussi des traces, particulièrement des couches d'argile qui recouvrent les stalagmites (cf. image page précédente). Ainsi en étudiant la structure de celles-ci, on peut y lire l'histoire des crues. En se plaçant loin au-dessus du



Cavité ouverte en été 2023 en aval de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds, après un événement de crue. Une conduite d'eau a été rompue.

Cycle du carbone

Le changement climatique n'influence pas seulement la température d'une grotte mais également les flux de carbone transitant dans le karst. En climat tempéré humide, le sol génère l'essentiel du CO₂ à l'origine de la dissolution du calcaire. Avec le réchauffement en cours, la végétation est active plus longtemps (repos hivernal plus court) et se développe rapidement en altitude, favorisant la production de CO₂ et donc, le processus de karstification. Au contact d'une cavité ventilée, le CO₂ de l'eau de percolation dégaze dans l'air et provoque la précipitation de la calcite. Ces flux de carbone sont étudiés dans le détail au laboratoire souterrain de Milandre et font l'objet d'une collaboration avec l'Université de Berne. Un monitoring du CO₂ dans le sol et dans la grotte permet, en particulier, de mieux comprendre le rôle des circulations d'air sur le concrétionnement et, par corollaire, sur la minéralisation de l'eau mesurée à la source.

niveau des basses eaux, on peut y identifier uniquement les crues exceptionnelles ayant atteint ce niveau. En datant la calcite située juste au-dessous, respectivement au-dessus des couches d'argile, on peut reconstituer la fréquence des crues exceptionnelles d'une région. L'intérêt de cette archive est de pouvoir identifier les crues très loin dans le passé (plusieurs milliers d'années). En outre, grâce à des modèles hydrauliques, il est aussi possible d'estimer les débits correspondant aux mises en charge observées. C'est l'objet d'un projet soutenu par le Fonds national que nous avons mené entre 2021 et 2022 et qui se prolonge par un projet européen

pour un collaborateur post-doctorant espagnol que nous accueillons à l'ISSKA jusqu'en 2025.

La prévision des crues fait également partie d'un projet piloté par l'ISSKA, nommé « Karst Modelling Challenge », qui propose une comparaison internationale de différents modèles d'écoulement des eaux souterraines en milieu karstique. Ce projet a permis de comparer les résultats de 15 modèles d'écoulement différents issus de diverses équipes de recherche de toute l'Europe. Un premier article a été publié en 2021. Les travaux se poursuivent...

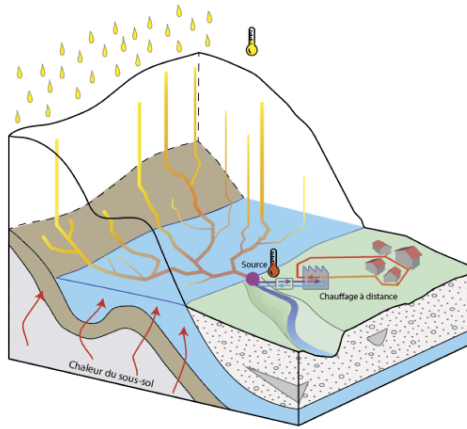


La Baume de Longeaigne dans le Val-de-Travers ne coule que lors de périodes de hautes eaux. Le changement climatique a induit un changement de régime des sources karstiques avec une diminution du débit au printemps et une augmentation en hiver.

Le karst comme source d'énergie

En plus des problématiques liées à l'implantation d'éoliennes en terrains karstiques, l'ISSKA innove en proposant deux sources d'énergie renouvelable locales.

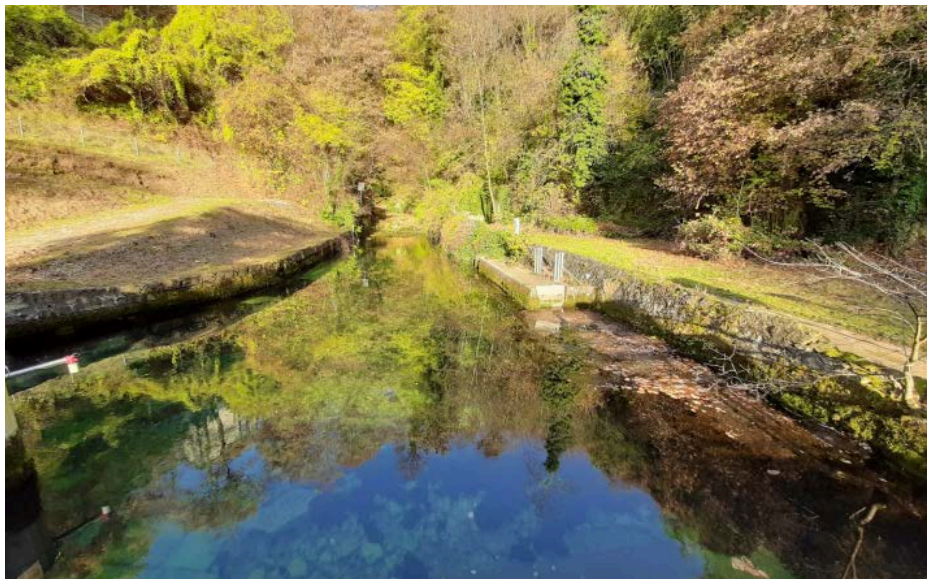
D'une part, il s'agit d'exploiter la chaleur issue des sources karstiques, qui représente souvent des quantités d'énergie considérables, capables de fournir du chauffage à de très nombreuses habitations. Cette ressource, encore quasiment inexploitée en Suisse pourrait potentiellement représenter une quantité d'énergie annuelle de l'ordre de 10'000 GWh/an, soit du même ordre de grandeur



Les sources karstiques drainent la chaleur du sous-sol. Il suffit de se servir !

que la totalité du Bois énergie de Suisse. L'ISSKA essaie donc de mettre sur pied un projet pilote dans le canton du Jura. Avec une production de l'ordre de 30 à 50 GWh/an, il permettrait de démontrer l'exploitabilité de cette ressource.

L'exploitation de chaleur implique l'usage de pompes à chaleur gourmandes en électricité. C'est pourquoi, d'autre part, nous étudions actuellement deux projets, dans nos tiroirs depuis de nombreuses années, qui pourraient aboutir à la production d'électricité de 50 à 100 GWh/an.



La source de la Serrière (Neuchâtel) est utilisée depuis longtemps pour chauffer différents bâtiments industriels voisins.



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



Marc Luetscher
marc.luetscher@isska.ch

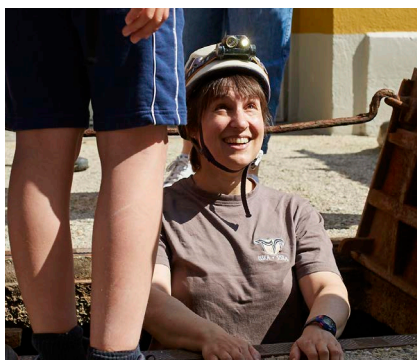
Les activités 2023 de l'ISSKA en bref

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. La biospéologie et la biodiversité vont passer en 2024 du secteur archéozoologie au secteur patrimoine. Nous présentons ici quelques éléments de ces secteurs qui ont marqué cette année 2023.

Enseignement

Livre sur la Suisse souterraine

Sur l'impulsion de Rémy Wenger et Jean-Claude Lalou, l'ISSKA prépare un ouvrage sur les grottes de Suisse. Les 240 pages que compte le livre brossent le portrait d'un territoire riche de plus de 11'000 cavités, dont deux des plus grands réseaux d'Europe. Explorations, sciences et histoires sont au rendez-vous d'un voyage illustré grâce à la contribution de nombreux et nombreuses photographes spéléos de tout le pays. L'ISSKA a coordonné la recherche de fonds, participé à la collecte de documentation, à l'écriture et à la relecture scientifique des textes et enfin à la production d'illustrations. Ce livre sera édité chez Haupt Verlag AG, en français et en allemand, tout comme le livre sur les sources de Suisse, paru en 2021. La publication est prévue à l'automne 2024.



Cours, conférences et excursions

Plus de 650 personnes ont participé à l'un de nos cours (ETH, HEPIA), à l'une de nos conférences (eaux souterraines, géothermie profonde) ou à l'une de nos excursions, notamment les 160 élèves chaux-de-fonniers de 9^{ème} Harnos, qui ont découvert avec stupeur et engouement, les dessous de leur ville.

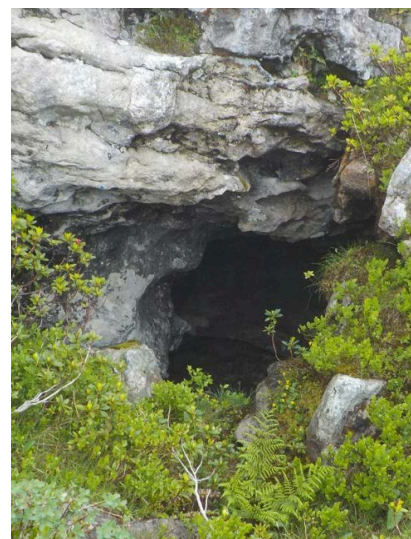
Archéozoologie

Les grands cervidés holocènes des lapiés alpins

Des restes de cerf élaphe (*Cervus elaphus*) ont été retrouvés dans une petite grotte horizontale creusée dans les grès, en face du lapiaz calcaire des Sieben Hengste (Habkern, BE). Un tibia daté au radiocarbone a révélé un âge de 6008-5848 années avant l'an 0. Les restes dentaires ont permis d'identifier trois individus d'âges différents. On estime qu'ils ont utilisé la grotte comme refuge, durant des périodes caniculaires ou au contraire d'intempéries. Un cerf holocène plus âgé (environ 7500 ans avant l'an 0) avait été retrouvé il y a une vingtaine d'années à la Schrattenfluh, piégé dans un puits de la partie calcaire du lapiaz. On suppose qu'à cette époque il devait encore être recouvert, au moins partiellement, par la forêt.

D'autres grands cervidés, les élans (*Alces alces*), ont également été trouvés à plusieurs reprises dans des cavités proches des lapiés alpins (Sieben Hengste, Hohgant, Schrattenfluh). Piégés parfois dans de petites fissures, ils ont vécu également dans ces contrées entre 5000 avant notre ère et 500 après l'an 0. Tous ces cervidés fréquentaient

les régions boisées situées en contrebas des lapiés dénudés, en particulier les régions marécageuses situées sur les grès. Toutes ces découvertes nous fournissent de précieux renseignements sur la faune locale présente à cette époque tout comme sur la végétation qui prévalait à ces différents endroits.



Entrée de la G 11.1 (Pfähelhöhle), grotte ayant abrité les cerfs élaphe aux Sieben Hengste.

Biodiversité

Le projet Biodiversité dans le karst s'est poursuivi en 2023 avec de nombreuses observations. Une première mesure de protection a été réalisée : la protection des petits lacs de la grotte de Vers chez le Brandt (NE) contre le piétinement,

afin de protéger les niphargus et autres espèces aquatiques.

Dans cette même cavité, un coléoptère endémique a été à nouveau observé après 67 ans d'absence !

Hydrogéologie

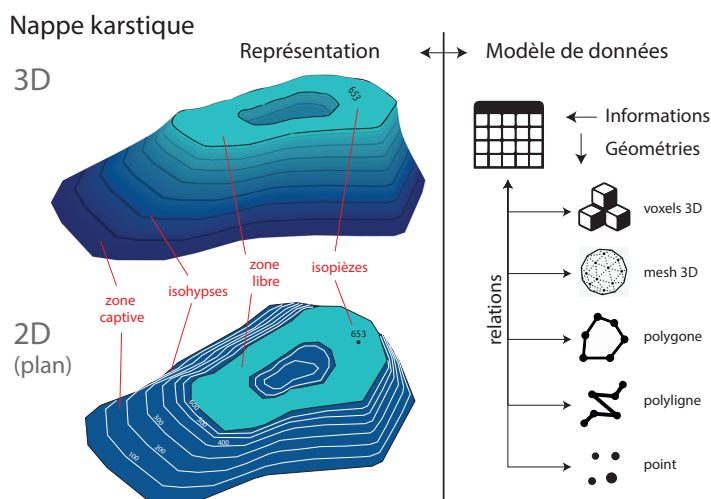
Un modèle de données pour l'hydrogéologie du karst

Avec la multiplication des supports d'information et de visualisation (cadastre, guichet cartographique, géoportail 3D, etc.) se pose la question de ce que l'on nomme le « modèle de données », c'est-à-dire la manière de structurer et de documenter un objet (par exemple un bâtiment, un sondage, etc.) afin de pouvoir retrouver toutes les informations utiles, liées à cet objet, quelle que soit sa représentation. Prenons le cas d'une « nappe karstique », qu'on peut décrire comme un volume d'eau dans un volume de roche, donc typiquement un objet complexe en 3 dimensions. La nappe peut présenter une portion « libre » qui varie en fonction des saisons et une portion « captive », coincée sous des formations géologiques imperméables. A cette nappe, on peut associer d'autres propriétés - non géométriques - comme un nom, une valeur de porosité, une qualité d'eau, etc. On peut aussi déduire certaines informations en fonction des géométries et des propriétés. Par exemple, sur la base du volume (géométrie) de la nappe et de sa porosité (propriété), on peut déduire le volume d'eau disponible en mètres cubes.

En fonction des utilisations, cette nappe pourra ensuite être représentée en 3D ou

en 2D, ce qui n'est pas la même chose. En 3D, l'objet sera représenté comme un mesh (volume fermé), ou comme un empilement de voxels (petits cubes) alors qu'en 2D il le sera sous forme de polygones, de lignes ou de points. L'objet peut donc se retrouver « multiple » dans sa représentation alors qu'en réalité il est unique... Multiplier les représentations entraîne alors le risque de multiplier les informations, ou pire, de conditionner les informations au mode de représentation choisi. Si une nappe est décrite simplement par une série de polygones, on perd l'information du volume, de son épaisseur, etc. On se retrouve alors (i)

forcé à décrire les objets de manière incomplète car contraint par le mode de représentation ou alors (ii) à multiplier les informations pour permettre plusieurs représentations, compliquant ainsi les problèmes de mise à jour... Pour pallier à ce problème, l'ISSKA travaille sur la définition de modèles de données qui permettent justement de dissocier l'objet de sa représentation. C'est déjà le cas pour certains objets hydrogéologiques (les sondages, les nappes, les sources) mais d'autres sont encore à l'étude, notamment dans le cadre de mandats en lien avec l'application de la loi fédérale sur la GéolInformation.



Comment conceptualiser, décomposer et structurer les informations d'une nappe karstique (objet 3D) dans une base de données, en garantissant leur intégrité (cohérence, absence de redondance) et leur représentation (en plan 2D ou schématique) ? Telle est l'objectif d'un modèle de données.



Camion vibreur pour mesures sismiques à MuttENZ.

Science appliquée

Subsidence et risque d'éboulement MuttENZ-Pratteln

Depuis plusieurs années, l'ISSKA étudie, sur mandat du canton de Bâle-Campagne, les affaissements qui se produisent dans la région de MuttENZ. Outre quelques effondrements de dolines qui se produisent à MuttENZ et à côté, une partie du village s'affaisse parfois très rapidement (>1 cm/an). La question était alors de savoir si ces phénomènes étaient dus au Keuper gypseux, qui peut se dissoudre

rapidement, au Muschelkalk (dont la karstification est avérée) situé en dessous, ou même au sel gemme qui se trouve encore plus bas. Après d'importantes études préliminaires, des lignes sismiques ont été tracées et deux forages profonds ont été réalisés jusqu'au sel, dans lesquels des analyses des eaux souterraines sont actuellement en cours. Les premiers résultats sont disponibles, mais doivent encore être confirmés.

Patrimoine

Dans le domaine patrimoine karstique de l'ISSKA, l'année 2023 a été marquée à nouveau par les dépollutions: deux dans le canton de Vaud (le Creux aux Chèvres sur la commune de Tévenon et une doline aux Grands Plats de Vent sur la commune du Chenit) et une sur Neuchâtel (ravins en terrain escarpé au-dessous de la route du Col de La Tourne, commune de Rochefort). Au total, plus d'une vingtaine de mètres cube de déchets ont été évacués.

Notons au passage qu'il y a aussi plus d'une centaine de sites (objets karstiques souterrains et de surface) qui ont été visités dans le cadre des conventions avec ces deux cantons, et avec l'aide des spéléologues des groupes régionaux de la Commission patrimoine de la Société suisse de spéléologie.

PUBLICATIONS

Publications 2023

- BARTOLOMÉ M., CAZENAVE G., LUETSCHER M., SPÖTL C., GÁZQUEZ F., BELMONTE Á., TURCHYN A. V., LÓPEZ-MORENO J. I., MORENO A., 2023. Mountain permafrost in the Central Pyrenees: insights from the Devaux ice cave. *The Cryosphere*, 17, 477-497. doi.org/10.5194/tc-17-477-2023.
- BLANT D., 2023. Assainissement du Creux aux Chèvres. - *Cavernes*, 67 (2), 40-41.
- BLANT D., PERRET A., WEBER E., 2023. Phénomènes d'effondrements karstiques 2022 – 2023 dans les Montagnes neuchâtelaises. - *Cavernes*, 67 (1), 20-24.
- CHAUVIÈRE F.-X., BLANT D., CASTEL J.-C., LATERZA S., ULDRY V., 2023. La Baume des Brennetets. - *Cavernes*, 67 (1), 4-15.
- DELLA TOFFOLA R. & BLANT M., 2023. Ritrovamenti ossei avvenuti in tre grotte ticinesi tra il 2020 e il 2022. *Bollettino della Società italiana di scienze naturali* 111, 109-112.
- FOHLMEISTER J., LUETSCHER M., SPÖTL C., SCHRÖDER-RITZAU A., PLESSEN B., FRANK N., EICHSTÄDTER R., TRÜSSEL M., 2023. Northern Hemisphere summer insolation modulates glacial millennial-scale climate variability. *Communications Earth & Environment*, 4, 245. doi.org/10.1038/s43247-023-00908-0.
- GIMÉNEZ R., BARTOLOMÉ M., EZQUERRO L., BENITO G., LUETSCHER, M., MORENO A., 2023. Hydrological and environmental dynamics in Las Gúixas show cave: tourist exploitation and flood risk management. In: Andreo, B., Barberá, J.A., Durán-Valsero, J.J., Gil-Márquez, J.M., Mudarra, M. (eds) *EuroKarst 2022, Málaga. Advances in Karst Science*. Springer, Cham, 165-170. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16879-6_24.
- JEANNIN P.-Y., 2023. Quelques neuchâtelais dans les profondeurs de l'Albanie. - *Cavernes*, 67 (2) : 45-50.
- KESSELING TH., BLANT D., 2023. Tunnel du Creux. Action de dépollution et petit historique de ce tunnel éphémère (La Chaux-de-Fonds, NE). - *Cavernes*, 67, 16-19.
- LÜTHI CH., 2023. Höhlen-Daten sind wertvoll! *Stalactite*, 73 (1): 4-6.
- LÜTHI CH., SIEGENTHALER, R. 2023. Die Ausbildungskommission der SGH / La Commission Formation de la SSS. *Stalactite*, 73 (2): 39-47.
- LÜTHI CH., 2023. Das Höhlenfrier des Jahres 2024. *Stalactite*, 73 (2): 48-50.
- MOECK C.; JIMÉNEZ-MARTINEZ J.; JEANNIN P.-Y.; SCHILLING O. S.; SCHIRMER M., 2023. Grundwasser und Klimawandel. - *Aqua Viva*, 65(2), 28-31.
- PÉREZ-VILLAR G., BARTOLOMÉ M., BENITO G., MEDIALDEA A., LUETSCHER M., EDWARDS R.L., MORENO A., 2023. Understanding Morphosedimentary Changes and Extreme Past Floods: The Case of Ojo De Valjunquera Cave (Iberian Range, Spain). In: Andreo, B., Barberá, J.A., Durán-Valsero, J.J., Gil-Márquez, J.M., Mudarra, M. (eds) *EuroKarst 2022, Málaga. Advances in Karst Science*. Springer, Cham, 171-177. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16879-6_25.

MEDIAS

Presse : ArcInfo • Le Franc-Montagnard • Journal du Jura • Le Quotidien Jurassien
TV : Österreich 1 • RTS – Passe-moi les jumelles

PERSONNEL

Employé(e)s

Denis Blant	Science, patrimoine (50%)
Michel Blant	Science, archéozoologie (25% fin 4.23)
Constanze Bonardo	Administration (10%)
Maud Galletti	Science (80%)
Philipp Häuselmann	Science, patrimoine (50%)
Pierre-Yves Jeannin	Science, administration (90%)
Marc Luetscher	Science, administration (100%)
Arnauld Malard	Science (90%)
Carole Mettler	Secrétariat (40%)
Georges Naman	Informatique (35%, fin 1.23)
Amandine Perret	Science, enseignement (80%)
Simon Pettelat-Drouin	Science (80%)
Manon Trottet	Science (80%)
Eric Weber	Science (80%)

Collaborateurs externes

Michel Blant (dès 05.2023)
 Christian Lüthi
 Urs Eichenberger
 Rémy Wenger

(Post-)doctorants

Miguel Bartolomé post-doc paleoflood
 Claudio Pastore doctorant thermokarst
 Amir Sedaghatkish doctorant thermokarst

Stagiaires / civilistes

Marco Bearzi	Civiliste
Jonathan Boissonnas	Civiliste
Bruno Da Costa	Civiliste
Reyes Giménez	Stagiaire
Xavier Moirandat	Stagiaire
Nicolas Schmid	Civiliste
Prune Roche	Stagiaire
Loïc Seuret	Civiliste
Maryem Zribi	Stagiaire



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.

COMPTES & BILAN

COMPTE DE RESULTAT DE L'EXERCICE	2023	2022
	CHF	CHF
Mandats	898 836,28	603 193,38
Subventions	183 520,40	98 932,10
Projet FNS	176 719,16	206 956,64
Soutien de la Loterie Romande	33 750,00	80 750,00
Ventes	4 852,97	2 640,80
Dons	19 416,27	9 408,97
Autres produits	27 491,44	52 595,05
TVA	(2 920,48)	(7 087,60)
Attribution du ducroire	0,00	20 000,00
Total des produits	1 341 666,04	1 067 389,34
Sous-traitance	(154 281,28)	(70 882,11)
Charges projet FNS	(51 387,29)	(67 029,59)
Matériel durable	(2 702,02)	(2 070,52)
Frais d'impression	(2 276,88)	(1 185,84)
Consommables	(61 433,86)	(75 990,72)
Frais de déplacement	(15 446,94)	(21 712,86)
Autres frais généraux	(53 924,78)	(39 235,72)
Marge brute I	1 000 212,99	789 281,98
Frais de personnel	(915 799,22)	(749 378,52)
Marge brute II	84 413,77	39 903,46
Frais de locaux	(30 170,00)	(30 695,00)
Assurances commerciales	(4 590,30)	(5 239,40)
Frais généraux administration	(3 600,00)	(3 600,00)
Résultat d'exploitation avant intérêts, charges et produits hors exploitation	46 053,47	369,06
Produits financiers	762,75	(2 684,47)
Charges financières	(1 816,22)	(2 149,80)
Produits extraordinaires Spelaion	0,00	123 474,32
Charges extraordinaires Spelaion	0,00	(225 870,41)
Résultat de l'exercice avant attribution au fonds de réserve	45 000,00	(106 861,30)
Attribution au fonds de réserve	0,00	0,00
EXCEDENT DE (DEPENSES) / RECETTES	45 000,00	(106 861,30)

BILAN AU 31 DECEMBRE	2023	2022
	CHF	CHF
A C T I F		
Actif circulant		
Trésorerie et actifs cotés en bourse détenus à ct		
• liquidités	240 562,91	360 987,75
• titres cotés à court terme	8 128,42	22 564,48
Créances résultant de ventes de biens et de prestations de services envers des tiers, net	233 891,83	162 096,75
Autres créances à court terme envers des tiers	0,00	0,00
Prestations de services non facturées	54 637,67	32 964,30
• travaux en cours	3 010,00	2 500,00
Actifs de régularisation	0,00	0,00
Total actif circulant	540 230,83	581 113,28
Actif immobilisé		
Immobilisations financières	1 562,68	1 557,92
Immobilisations corporelles, net	2 072,01	0,00
Total actif immobilisé	3 634,69	1 557,92
TOTAL DE L'ACTIF	543 865,52	582 671,20

BILAN AU 31 DECEMBRE	2023	2022
	CHF	CHF
P A S S I F		
Capitaux étrangers à court terme		
Dettes résultant de l'achat de biens et de prestations de services	22 169,25	20 064,60
Dettes à court terme portant intérêt	10 000,00	20 000,00
Autres dettes à court terme envers des tiers	29 384,99	29 609,48
Passifs de régularisation	251 952,40	337 638,24
Total capitaux étrangers à court terme	313 506,64	407 312,32
Capitaux étrangers à long terme		
Dettes à long terme portant intérêt	40 000,00	50 000,00
Total capitaux étrangers à long terme	40 000,00	50 000,00
Capitaux propres		
Capital de dotation	260 000,00	240 000,00
Fonds de réserves	120 000,00	120 000,00
Excédent de dépenses au bilan		
• excédent de dépenses reporté	(234 641,12)	(127 779,82)
• excédent de recettes	45 000,00	(106 861,30)
Total capitaux propres	190 358,88	125 358,88
TOTAL DU PASSIF	543 865,52	582 671,20



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 2023.

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 audits, 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 audits 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.

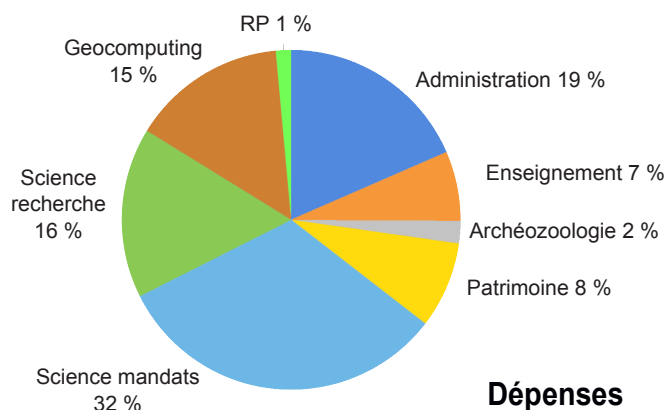
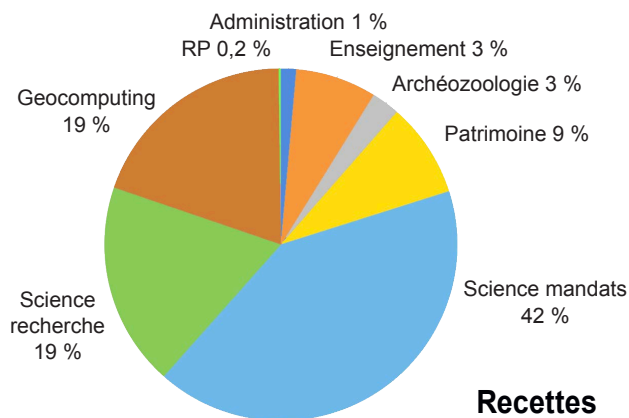
Lors de notre contrôle, nous n'avons pas rencontré d'éléments nous permettant de conclure que les comptes annuels ainsi que la proposition concernant l'emploi du bénéfice au bilan ne sont pas conformes à la loi suisse et à l'acte de fondation.

La Chaux-de-Fonds, le 15 mai 2024

FIDUCONSULT ACTA SA

Laszlo Kelemen
Laszlo Kelemen
Expert-réviseur agréé
(Responsable du mandat)

Kevin Lombard
Kevin Lombard
Réviseur agréée



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 créée 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'étude vont de la climatologie souterraine à l'hydrogéologie ou la spéléogénèse, en passant par l'archéozoologie 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.

SECTEURS D'ACTIVITÉ

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

AVEC LE SOUTIEN DE



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. Il nous soutiennent aussi pour le suivi de diplômés 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

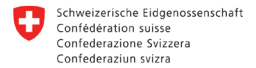
Une attestation de don pour vos **déductions d'impôts** vous sera envoyée automatiquement.

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



MEMBRES DU CONSEIL DE FONDATION (2022)

Paul Borer (Canton de Berne)

Didier Cailhol (SC-Jura)

Patrick Deriaz

Vacant (Académie suisse des Sciences naturelles)

Roman Hapka (SC Préalpes fribourgeoises)

Ana Häuselmann (Commission de spéléologie scientifique SSS & SCNAT)

Werner Janz

Ulrich Jörin (AG-Höllochforschung)

Jean-Claude Lalou (Sublime + Président du Conseil)

Flavio Malaguerra (Office fédéral de l'env. - OFEV)

Roger Martin (SGH-Basel)

Hans Rudolf Meier (Société suisse de spéléologie)

Pierre Perrochet (Canton de Neuchâtel)

Edouard Roth (Canton du Jura)

Pierre Schneider (Ville de La Chaux-de-Fonds)

Hans Stünzi (AGS-Regensdorf)

Andres Wildberger



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

Couverture :
Contraste saisissant entre un état de sécheresse
(le débarcadère du lac des Brenets, NE) et
une situation de crue (l'entrée de la Baume de
Longeigue, au Val-de-Travers, NE).