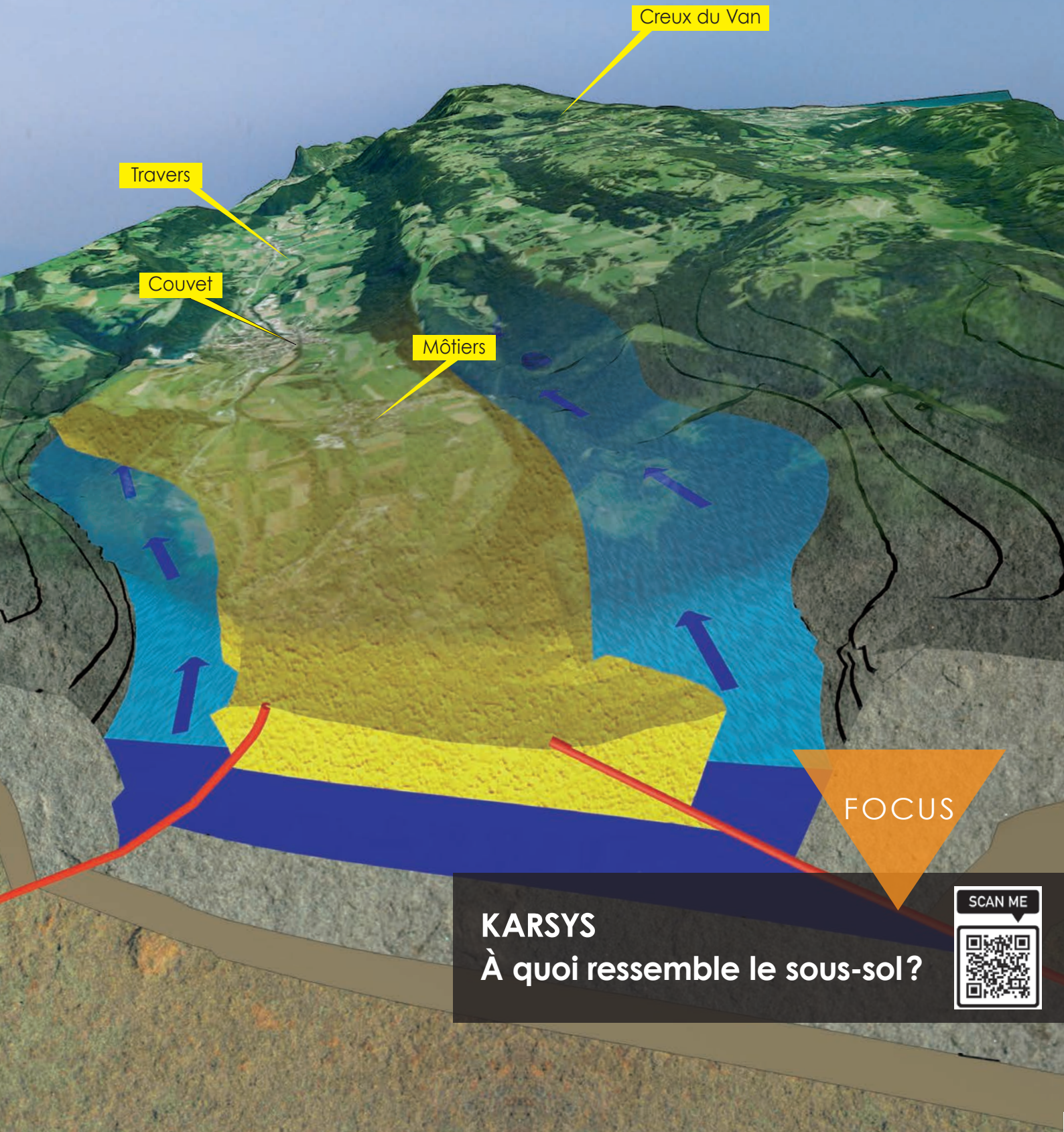


## RAPPORT ANNUEL 2019



Creux du Van

Travers

Couvet

Môtiers

FOCUS

**KARSYS**  
À quoi ressemble le sous-sol?





# S O M M A I R E

FOCUS

## KARSYS

- 4 A quoi ressemble le sous-sol ?
- 6 Observations et mesures
- 8 Modèle conceptuel explicite : se représenter le sous-sol aussi concrètement que possible
- 10 Modèles numériques : simuler ce qui se passe dans le sous-sol

## Activités diverses

- 12 Un aperçu des autres activités de l'Institut

## varia

- 14 Publications
- 14 Les collaborateurs de l'ISSKA
- 14 L'ISSKA dans les médias
- 14 Réseaux sociaux
- 15 Comptes & bilan

Liste des partenaires principaux de l'ISSKA en 2019 :

- ▶ Office fédéral de l'environnement (OFEV)
- ▶ Office fédéral des routes (OFROU)
- ▶ Office fédéral de topographie (Swisstopo)
- ▶ Direction régionale des affaires culturelles – Aquitaine (F) (DRAC-AQ)
- ▶ Bureau de recherches géologique et minière (F) (BRGM)
- ▶ Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud (DGE)
- ▶ Service de la protection de l'environnement du canton du Valais (SPE)
- ▶ Service de l'énergie et de l'environnement du canton de Neuchâtel (SENE)
- ▶ Service de l'environnement du canton de Soleure (AFU)
- ▶ Institut pour les technologies 4D (i4Ds)
- ▶ Laboratoire FAST, Université de Paris Sud
- ▶ Ville de La Chaux-de-Fonds



Forage au travers d'une mine en vue d'un monitoring de la nappe d'eau souterraine.

---

## Editorial

### **Des projets importants Des incertitudes majeures Quel avenir pour l'ISSKA ?**

**Côté clair:** un projet Fonds national de 4 ans sur la thermique des systèmes karstiques, un outil novateur et prometteur de modélisation du sous-sol qui recueille beaucoup d'intérêt, des projets internationaux (Algérie, Guadeloupe, Réunion), des demandes dans le domaine des dangers naturels, un Forum *Spelation* en vue...

**Côté sombre:** une fin d'exercice financier 2019 difficile, des mandats qui tardent à être signés, une bombe sanitaire qui touche tout le monde. La pandémie Covid19 est un coup de massue pour une fondation comme l'ISSKA : projets impossibles à concrétiser faute de pouvoir se déplacer, démarches en cours ralenties avec le reste de la société, difficultés administratives pour obtenir le soutien financier proposé par le gouvernement fédéral et pour organiser le travail à distance...

**Survivre à la crise:** l'ISSKA a reçu une réponse positive de l'ORCT pour la mise au chômage partiel du personnel. Ce soutien est un des éléments qui doit nous permettre de sortir de ce mauvais pas, tout particulièrement au moment où nous venons d'engager deux nouveaux collaborateurs pour mener à bien les projets qui s'annoncent.

L'ISSKA a été fondé pour proposer une compétence scientifique spécifique au karst, et cela dure depuis vingt ans. En quelques jours ou semaines, ce sont des compétences sociétales qu'il faut inventer pour sortir le bateau de la tempête.

Le Rapport annuel 2019, focalisé sur l'approche KARSYS, est une démonstration du dynamisme et de la compétence de l'ISSKA. KARSYS est un outil, développé par l'Institut, qui permet de représenter synthétiquement et d'interpréter nos connaissances du sous-sol; il représente un précieux instrument de gestion au service des communautés publiques.

Gageons que ces compétences pourront être reconnues et valorisées encore longtemps.

*Jean-Claude Lalou, président de la Fondation*

## HYDROGÉOLOGIE

## A quoi ressemble le sous-sol ?

**Que fait l'ISSKA pour mieux comprendre et montrer le sous-sol ?**

**Le sous-sol ne se voit pas, il s'imagine ! Le seul moyen de le visualiser est d'en faire des modèles.**

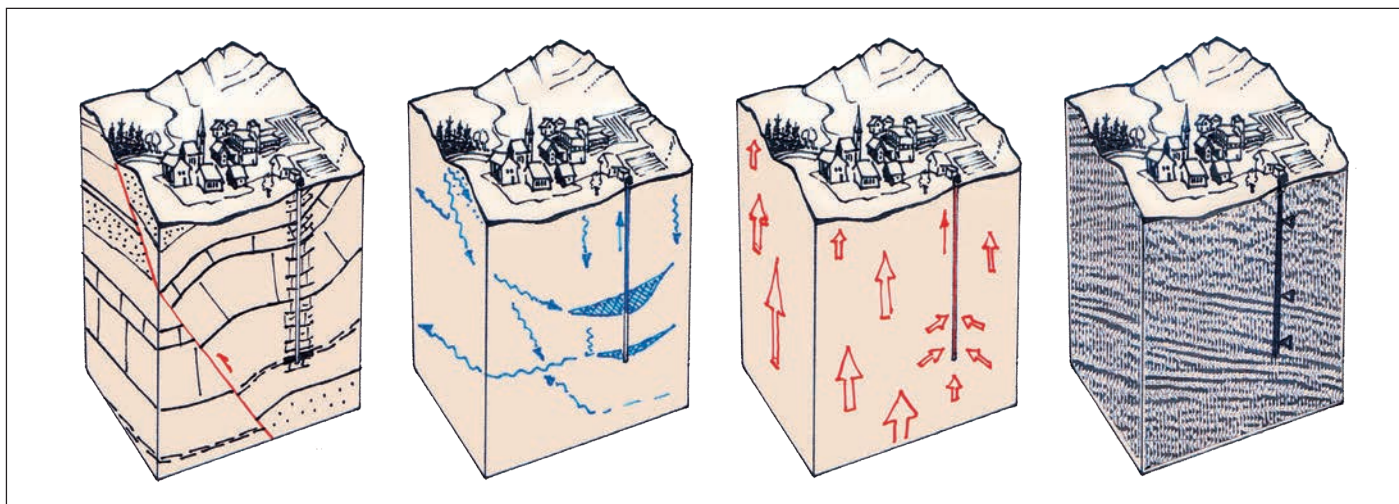
**Depuis 20 ans l'ISSKA modélise et met au point des méthodes pour mieux comprendre et représenter le sous-sol.**

Pour deviner le sous-sol, la géologie guide notre imagination : le géologue décrit les roches et estime leur extension. Il est ainsi possible d'évaluer quelle roche se trouve à quel endroit et, pour une roche donnée, de s'imaginer ses caractéristiques. Cependant, l'épaisseur des roches varie dans l'espace, et des plis et des fractures les décalent. Estimer la position exacte en profondeur de chaque roche est difficile. Les données des cartes géologiques

sont alors insuffisantes et des forages ou des investigations géophysiques sont nécessaires pour diminuer l'incertitude, qui reste toutefois généralement importante.

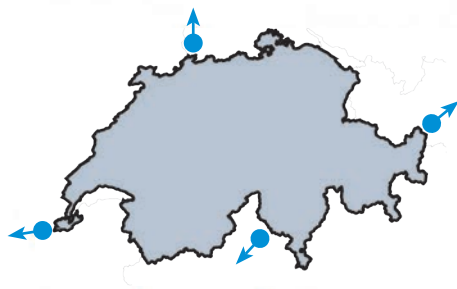
Dans les calcaires, solubles, la nature creuse un réseau de grottes qui absorbe la quasi-totalité des eaux. Pour comprendre et gérer les eaux en région karstique, il faut esquisser l'allure du réseau karstique qui est pour l'essentiel invisible. C'est un

peu comme si l'on voulait gérer les eaux de surface sans disposer d'une carte des rivières et des lacs. Depuis 20 ans, l'ISSKA développe approches et outils pour permettre de construire un modèle conceptuel explicite des écoulements souterrains (allure du réseau karstique dans l'ensemble du bassin d'alimentation des sources). Sur la base de ce modèle, et pour mieux comprendre le sous-sol, on pourra tenter de simuler les écoulements



Le sous-sol ne se voit pas, on s'en fait une représentation (modèle) selon la question que l'on se pose. Le géologue se demande comment les couches de diverses roches se prolongent sous ses pieds et comment elles sont déformées. L'hydrogéologue s'intéresse aux accumulations des nappes d'eau potable et à la perméabilité qui peut être fort variable dans le sous-sol. L'ingénieur qui cherche à exploiter la géothermie s'intéresse aux flux et aux capacités thermiques. Le géophysicien fait de la tomographie électromagnétique ou mesure les réflexions de géo-radar ou, comme montré ici, de la sismique de réflexion. Chaque fois il s'agit de modèles dont on ne connaît les vraies propriétés que très localement, par exemple au travers d'un forage.





Comment gérer les eaux de Suisse ?  
La première étape est de connaître le réseau hydrographique. On y installera ensuite des stations de mesures, ce qui permettra de modéliser les écoulements pour différentes conditions.



### Pour bien comprendre : faisons une analogie

Imaginons que vous vous intéressez à acheter une maison aux volets clos depuis des années, propriété d'un héritier vivant très loin, et dont vous n'avez pas les coordonnées. Avant d'aller plus loin, vous aimeriez estimer les travaux nécessaires. Pour y parvenir, vous – ou un architecte – devrez essayer de représenter l'intérieur de ce bâtiment sans pouvoir y entrer. A partir d'indices divers, vous essayez d'imaginer le nombre, la taille et la disposition des pièces. Comme indices, vous utiliserez la position de la porte et des fenêtres, leur taille, la forme du toit, etc. Cette reconstitution à partir d'indices est similaire au travail de modélisateur du sous-sol et pour lequel il développe des outils.

Dans le cadre de notre analogie, le géologue serait celui qui esquisse les plans de la maison inconnue et l'hydrogéologue celui qui s'intéresse au réseau des tuyaux de chauffage et des radiateurs. La question de la stabilité des murs correspondrait au travail du géotechnicien. En estimant le volume de la maison, la puissance du chauffage, le pouvoir isolant du toit, des murs, et des fenêtres, on peut estimer la consommation annuelle d'énergie de la maison. Cette estimation donnera une indication des charges annuelles de chauffage de la maison.

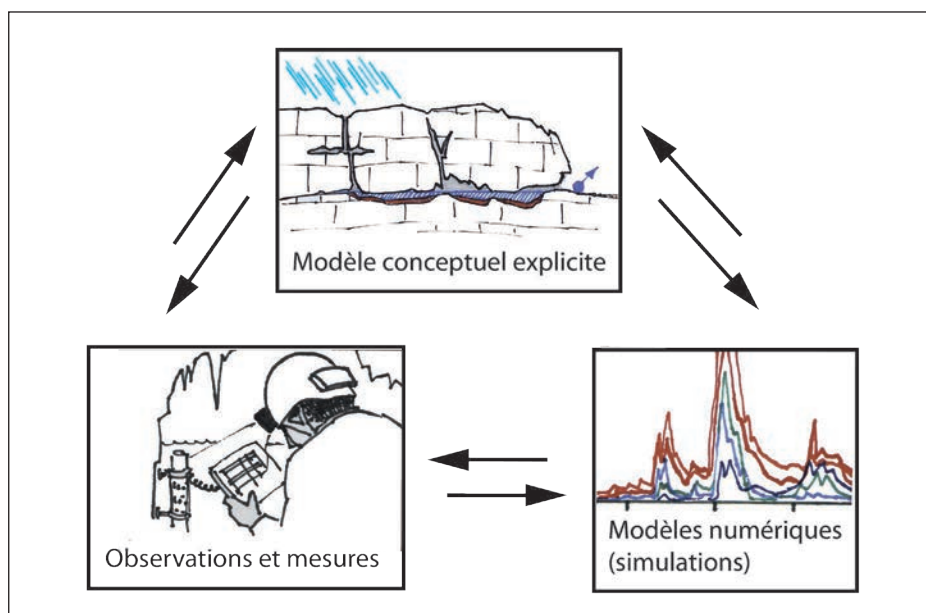
afin de vérifier la cohérence physique du concept: la taille des conduits est-elle suffisante pour laisser passer toute l'eau observée? La densité de conduits est-elle suffisante pour absorber l'eau des pluies les plus intenses ? La vitesse d'écoulement est-elle compatible avec les vitesses observées lors d'essais de traçages ?

Les outils de simulation sont nombreux, tant pour l'hydrologie de surface que pour les écoulements souterrains. L'ISSKA est le seul à développer une approche permettant de construire un modèle conceptuel en 3D. Une combinaison de ces outils est généralement nécessaire pour approcher les conditions d'écoulement dans le karst.

Evidemment, pour évaluer les résultats des modèles, il faut des observations et des

mesures faites sur le terrain, que l'on pourra comparer aux résultats des simulations, et qui nous permettront souvent d'améliorer le modèle conceptuel.

De la même manière qu'il faut construire un pont pour passer par-dessus une rivière, les réseaux de cavités souterraines posent des problèmes spécifiques lorsque l'on creuse un tunnel ou que l'on veut éviter de construire un bâtiment sur un vide souterrain. Depuis sa création, l'ISSKA développe des méthodes pour deviner de plus en plus précisément où se trouvent les réseaux karstiques et quelles sont leurs caractéristiques. C'est un enjeu majeur pour la gestion de l'eau et de l'environnement dans les régions calcaires qui concernent 20% de la surface des continents.



Le sous-sol ne se voit pas, on doit l'imaginer. On construit donc un modèle conceptuel dont on teste la cohérence physique avec un modèle de simulation des écoulements. La comparaison des résultats des simulations avec les mesures de terrain permet d'améliorer le modèle conceptuel.

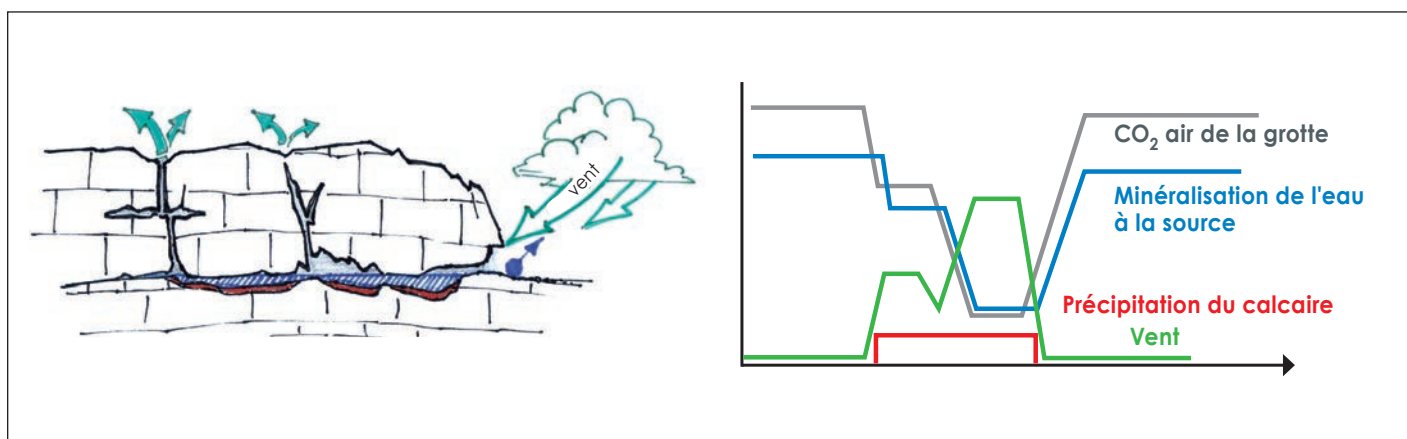
## Observations et mesures

Dans la pratique, on commence presque toujours la démarche par un certain nombre d'observations et de mesures. S'il est clair que l'eau s'écoule toujours et partout à partir des altitudes élevées vers les plus basses, d'autres éléments sont spécifiques à un site. Par exemple la structure géologique est propre à chaque site et conditionne les écoulements, certaines roches conduisant l'eau, d'autres pas. On commence donc presque toujours par rechercher quelques données de terrain pour construire un premier schéma qui servira de base à un modèle conceptuel explicite, puis de simulation.

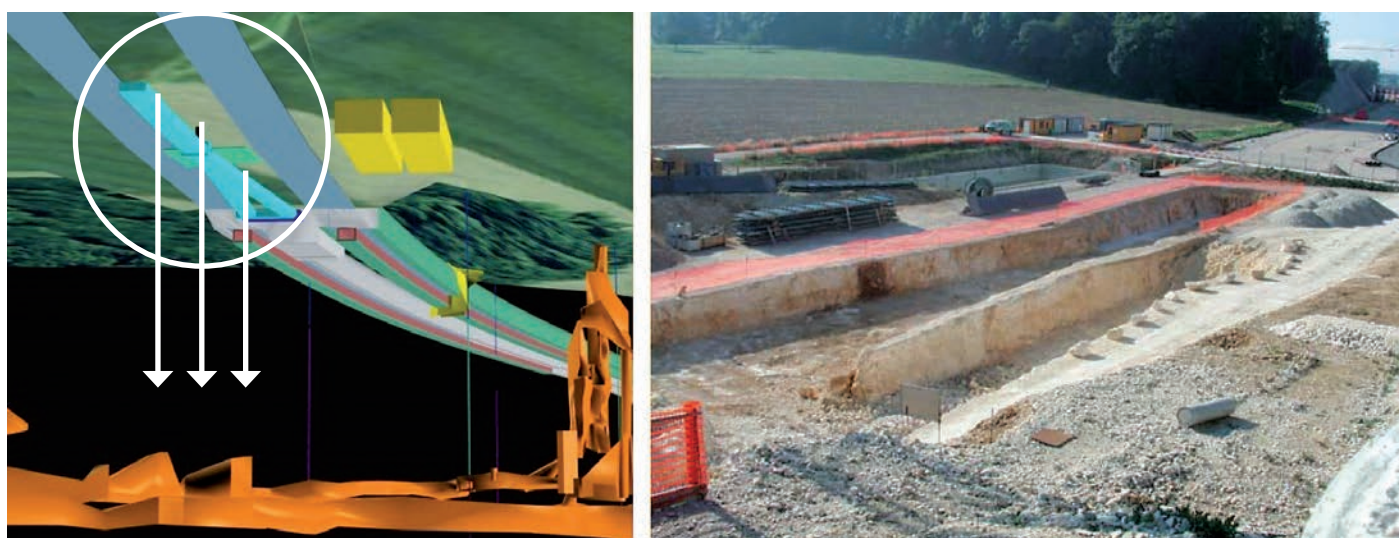
Pour imaginer le sous-sol, on utilise souvent les observations faites dans d'autres massifs, particulièrement ceux qui sont bien documentés et à l'intérieur desquels on a pu aller observer directement (grottes, tunnels, forages). C'est pourquoi notre laboratoire souterrain de Milandre est important. Il est en effet possible d'y mesurer les sources (exutoires du système), la rivière souterraine grâce à la grotte, ainsi que d'observer la roche entourant la grotte grâce à de nombreux forages qui ont été percés en lien avec construction de l'autoroute A16. Il a fallu passablement de réflexion et de développements techniques pour

mesurer certains paramètres dans des conditions qui ne sont pas toujours faciles.

Ces données ont dans un premier temps confirmé le schéma généralement admis d'un réseau karstique drainant un volume de calcaire fissuré. Elles ont cependant aussi mis en évidence le fait que ce modèle était insuffisant pour expliquer l'ensemble des observations. Plusieurs autres éléments ne peuvent être ignorés : par exemple qu'une quantité d'eau non-négligeable est stockée dans la zone non-saturée ou que les variations de la section d'écoulement dans les conduits karstiques (lacs et rétrécissements)



Lorsqu'il fait froid, l'air extérieur entre dans la grotte et abaisse le taux de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère de la cavité. Par conséquent, le calcaire est précipité dans la rivière souterraine, ce qui réduit la minéralisation de l'eau à la source.



Système d'infiltration d'eau pour alimenter les concrétions de la grotte situées sous la surface imperméable de l'autoroute.





Station de mesure dans le laboratoire souterrain de Milandre.

jouent un rôle important sur le transfert de substances (polluants, traceurs, particules, sédiments).

Au fil des ans, nous avons même constaté que les flux d'air traversant les massifs karstiques jouaient un rôle sur la température des grottes et même sur la chimie de l'eau. Le monitoring, initialement très centré sur les eaux souterraines, s'est donc élargi au climat souterrain.

Le détail des interactions entre le sol recouvrant les bassins karstiques et le sous-sol rocheux représente un domaine pour lequel des observations ciblées sont encore nécessaires. C'est particulièrement important pour évaluer les flux de carbone qui contrôlent la qualité de l'eau et les biotopes souterrains.



Essais de traçage en milieu karstique : à gauche, le traceur chemine de plusieurs kilomètres par jour ; à droite, le traceur a mis plus de 5 ans pour atteindre la grotte, 50 mètres plus bas !



### ... la suite de l'analogie

Si je dois envisager de supprimer (ou d'ajouter) un mur dans la maison, il est indispensable d'établir au préalable un plan précis, qui permette d'évaluer si le mur est porteur ou non. Il faut aussi voir comment éviter d'abîmer l'installation de chauffage en détruisant le mur, et même d'évaluer comment modifier celle-ci pour que le chauffage fonctionne correctement dans la nouvelle disposition des pièces.

Concrètement, on commence par regarder la maison, la décrire, la mesurer. De ces observations, on peut faire un certain nombre de déductions. Par exemple, la hauteur des étages peut être estimée à partir des fenêtres, l'allure du bâtiment nous permet de savoir s'il s'agit d'habitat ou d'une école. La position de la porte et des fenêtres nous permet souvent de savoir où se trouve la cage d'escaliers. L'usage d'une caméra thermique peut donner des indices sur les parties chauffées ou non et même sur la position de points chauds correspondant potentiellement à des radiateurs.

Pour deviner l'intérieur d'une maison inaccessible, on utilise notre expérience. Cette connaissance nous permet de formuler des hypothèses crédibles, par exemple qu'un plancher se trouve généralement environ 60 à 90 cm sous le bas des fenêtres.

Si on a de la chance, il est possible de visiter la cage d'escaliers, ce qui nous permettra de fixer précisément la hauteur des étages, de voir le nombre de portes sur chaque palier... On progressera considérablement, mais l'intérieur des locaux nous reste inaccessible.

L'inspection de la cage d'escalier devrait permettre de savoir si la maison est équipée d'un système de chauffage central, mais ni de savoir par quelle source de chaleur il est alimenté, ni de savoir si toutes les pièces (par exemple les combles) sont chauffées ou non.

L'observation d'un tas de bois qui sèche devant la maison nous permet de supposer la présence d'une cheminée de salon ou d'un poêle d'appoint. Est-ce le cas de la plupart des maisons de cette région ou est-ce plutôt une exception ?



## Modèle conceptuel explicite : se représenter le sous-sol aussi concrètement que possible

### Comment représenter le sous-sol ? Dans quel but ?

Le géologue qui s'intéresse à l'histoire de la Terre cherchera à identifier l'âge des roches, leur superposition et les fossiles qu'elles contiennent. L'ingénieur civil qui creuse un tunnel voudra connaître les caractéristiques mécaniques des différentes roches, mais ne s'occupera pas des fossiles. L'hydrogéologue quant à lui, cherche à décrire les roches en fonction de la facilité avec laquelle l'eau les traverse. La représentation du sous-sol dépendra donc clairement du but dans lequel on la fait. Veut-on construire un tunnel? Capter de l'eau? Placer des sondes géothermiques? Entreposer des déchets ou du CO<sub>2</sub>? Placer une éolienne?

Pour tous ces modèles (et d'autres encore), les connaissances géologiques forment la base que chacun va interpréter en fonction de son but. La première étape d'un modèle conceptuel

est donc toujours de définir l'objectif du modèle et la manière dont les données géologiques sont interprétées pour définir les unités du modèle.

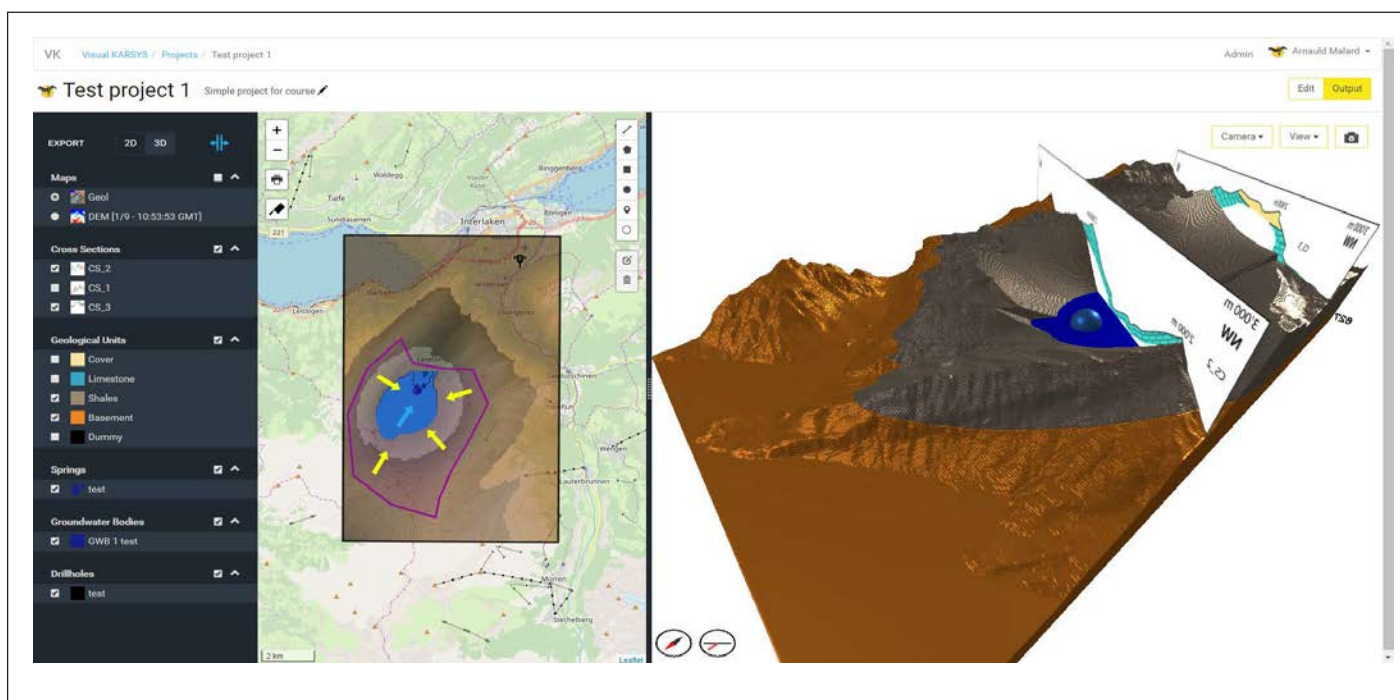
La difficulté avec le sous-sol est que les données sont rares et imprécises. Les seules données précises sont obtenues par des affleurements rocheux, des forages ou des tunnels. Par rapport au volume total de roche à modéliser, les données représentent au mieux 10% du volume. A partir de là, le modélisateur représente ce qu'il pense être proche de la réalité. Comme chacun développe sa propre image mentale, il est intéressant de pouvoir la montrer explicitement en 3D, pour permettre à chacun de la comparer et de la critiquer. C'est un excellent moyen d'identifier les zones les moins bien connues et de proposer des investigations ciblées sur ces zones.

Par exemple, creuser un tunnel dans un massif karstique représente toujours une opération risquée car le modèle

du massif est toujours imprécis. En effet, il faut considérer au moins trois aspects tout au long du tracé: la roche est-elle mécaniquement stable ou non? Où seront les arrivées d'eau principales et quel sera leur débit? Où se trouvent des cavités (grottes) dans lesquelles un tunnelier pourrait se coincer?

Ainsi pour trouver le meilleur tracé pour un tunnel, il faut disposer d'un modèle 3D qui tienne compte des trois aspects. Si les données géologiques permettent assez bien de prédire les caractéristiques géotechniques et hydrauliques des roches, elles ne suffisent pas à elles seules à évaluer la position et les caractéristiques des conduits. Pour y parvenir, il faut aussi prendre en compte l'hydraulique souterraine et l'évolution du paysage.

Des modèles conceptuels élaborés avec soin sont souvent suffisants pour répondre à un bon nombre de questions pratiques. Depuis plus de 10 ans, l'ISSKA développe la méthode KARSYS qui forme



Vue d'un modèle 3D créé sur Visual KARSYS, notre plateforme Web permettant à chacun de créer un modèle du sous-sol.



maintenant un cadre clair et concret pour construire des modèles conceptuels explicites des écoulements en milieu karstique. Les systèmes karstiques des cantons de Vaud, du Valais et de Soleure sont documentés de cette manière. Les modèles permettent de synthétiser l'ensemble des connaissances et de les représenter en 3D. Dans certains cas, par exemple dans la région de Ligerz, de tels modèles servent de base à d'autres, plus élaborés, pour évaluer les massifs en vue d'y percer un tunnel.

C'est pourquoi, depuis sa création, l'ISSKA tente d'une part d'améliorer l'image du

sous-sol que nous autres, spécialistes, essayons de nous faire en fonction des données et connaissances existantes, mais aussi d'améliorer les moyens de montrer ces modèles à d'autres gens, non spécialistes.

C'est dans cette optique que nous développons un outil permettant à chacun de construire son modèle des circulations souterraines dans le karst: avec VisualKARSYS, chacun peut représenter en 3D son modèle conceptuel des écoulements souterrains. Peu à peu des modèles KARSYS sont produits aux quatre coins du monde...

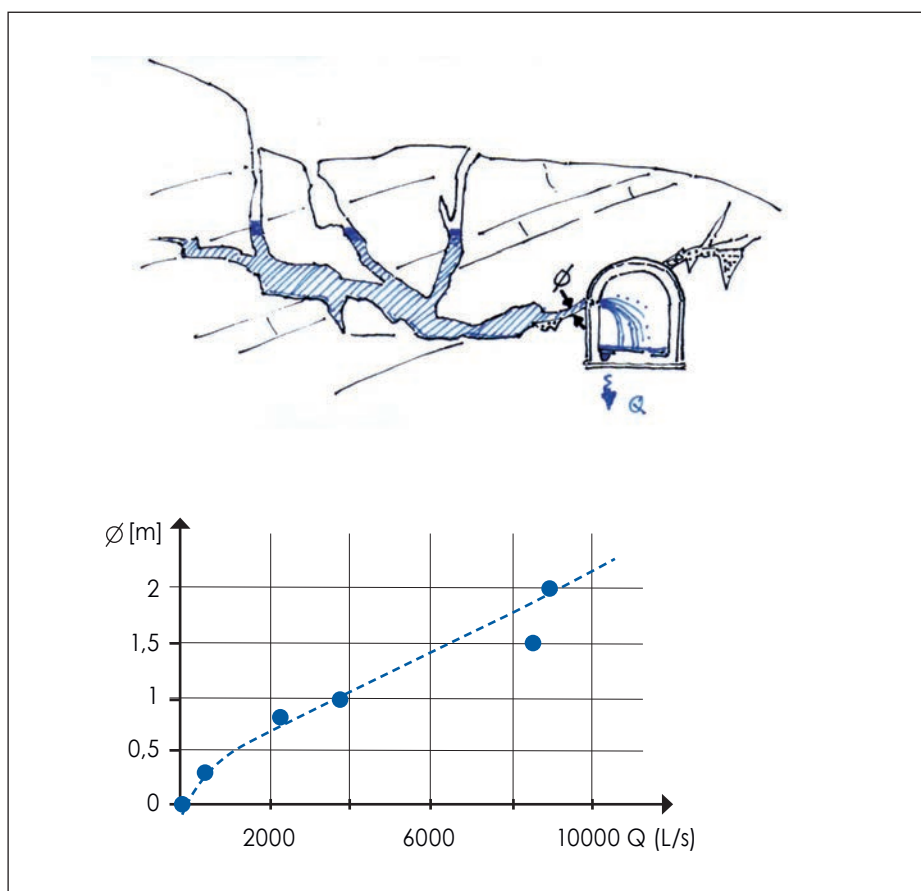
### ...encore la suite de l'analogie

Les éléments rassemblés par des observations et mesures nous permettent d'établir un plan et peut-être même un modèle en 3D de la maison, de son extérieur et de son intérieur. Certaines parties sont bien définies (extérieur, cage d'escaliers), d'autres sont encore assez énigmatiques (nombre de pièces exact, grandeur des pièces, existence éventuelle d'une salle de bain borgne...). Pour construire le modèle, on utilisera les règles de base de l'architecture. Si notre objectif est de savoir comment le chauffage est construit, on ne s'attardera pas sur les détails de l'aménagement des cuisines. Mais la répartition des pièces est quant à elle très importante.

Le fait qu'un appartement contient au moins une salle de bain, une cuisine et une pièce à vivre permet de faire des hypothèses crédibles sur l'organisation de l'espace, ce qui est évidemment nécessaire pour estimer la répartition des radiateurs et des circuits qui les alimentent.

Pouvoir montrer le modèle en 3D de la maison permet à chacun de visualiser ce que l'on a estimé et de le critiquer. Si vous le montrez à une personne ayant vu l'un des appartements, il pourra réagir directement et vous proposer des corrections. Si par chance vous le montrez à un ancien locataire, il pourra notablement le préciser. Si vraiment vous devez faire des travaux, vous allez faire les démarches nécessaires pour obtenir la clé de la maison et aller inspecter et mesurer en détail les parties qui vous intéressent. Quoi qu'il en soit, un bon plan ou même un modèle 3D des pièces (modèles conceptuels) seront nécessaires pour répondre aux questions qui se posent.

Pour dessiner les plans ou construire le modèle 3D, vous aurez besoin d'outils, au minimum d'un mètre, d'un papier, d'un crayon et d'un bon coup de crayon. Si vous devez lever un plan précis en 3D, un logiciel sera nécessaire.



Avec des données adéquates, nos modèles hydrauliques du sous-sol nous permettent d'évaluer les débits (ou pressions) de manière assez précise pour différents diamètres de conduits recoupés par un tunnel.

## Modèles numériques: simuler ce qui se passe dans le sous-sol

De combien de mètres l'eau monte-t-elle autour du tunnel de Ligerz pendant les crues? A partir de quelles conditions est-ce dangereux pour les ouvriers? A quelle vitesse une pollution arrivera-t-elle à un captage d'eau potable? Combien de chaleur puis-je envisager de tirer d'un forage géothermique? Quel serait le débit des sources de notre pays après trois mois sans aucune pluie? A quelle vitesse un conduit karstique peut-il se former sous un barrage?

Pour répondre à ces questions de manière quantitative, il est souvent nécessaire de faire une simulation qui tient compte de la situation et des caractéristiques locales de chacun des sites. Le modèle conceptuel devra donc être traduit en paramètres physiques pour permettre la simulation.

La difficulté est ici que l'eau transite environ un million de fois plus facilement dans les conduits que dans la roche qui l'entoure. Ainsi une faible erreur sur la position ou les paramètres de ces conduits peut aboutir à des différences notables sur les résultats des simulations.

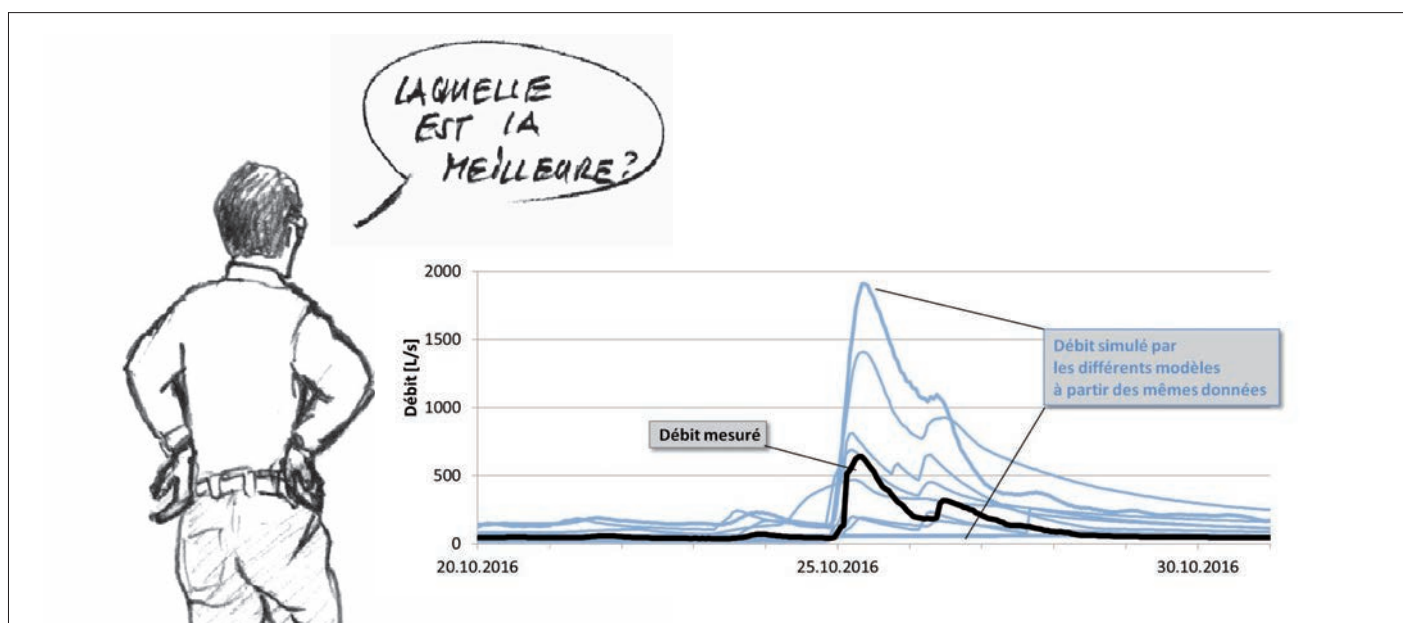
A titre d'exemple, le recouplement d'un conduit de 100 cm de diamètre au lieu de 40 cm lors du percement du tunnel de Ligerz aboutirait à un débit maximal estimé de 4000 L/s au lieu de 200 L/s.

Comme la géométrie exacte des réseaux de conduits n'est jamais connue, les incertitudes restent toujours assez conséquentes, et il est important de disposer de données aux endroits particulièrement significatifs car toutes les observations n'ont clairement pas la même importance.

Dans le domaine de la simulation, il est souvent difficile de choisir parmi les différentes méthodes de calcul proposées à travers le monde. Sur le papier toutes ont l'air excellentes, mais elles aboutissent visiblement à des résultats qui peuvent différer notablement... C'est pourquoi l'ISSKA a organisé un défi international (Karst Modelling Challenge) : 10 équipes ont reçu un jeu de données de notre laboratoire souterrain de Milandre et doivent simuler le débit de la source à partir des mêmes données

météorologiques. Les premiers résultats montrent que la plupart des modèles, avec des approches bien différentes, fournissent des résultats acceptables, bien que des différences notables subsistent. Quel sera le meilleur modèle? Les travaux d'évaluation et de comparaison sont en cours... ce qui est sûr est qu'aucun modèle n'est aussi parfait que nous pourrions l'espérer!

Dans le domaine du sous-sol, les résultats des simulations fixent des ordres de grandeur, mais rarement des valeurs précises, du-moins concernant les transferts de polluants ou de chaleur, car les incertitudes restent généralement élevées. Il est par exemple connu de longue date que les couches karstifiées sont plus froides que les autres. Les importants flux d'eau et d'air qui traversent ces massifs les refroidissent, ce qui n'est pas le cas des autres types de roche. Il est donc nécessaire de faire des mesures et observations de ces flux pour comprendre leur répartition dans le temps et l'espace. Cependant, les



Comparaison entre le débit mesuré et le débit simulé par dix différents groupes de modélisateurs de réputation internationale. Il reste un potentiel de progression !



flux d'eau et surtout d'air sont difficiles à évaluer et le fait que le karst soit un milieu discontinu (conduits entourés de roche) augmente encore notablement les incertitudes. Cette caractéristique (milieu discontinu) implique aussi souvent d'utiliser des modèles spécifiques qui diffèrent de ceux utilisés classiquement en hydrogéologie.

A quoi le sous-sol ressemble-t-il? La réponse dépend de chacun en fonction de ses buts et de ses connaissances.

L'ISSKA développe des outils qui permettent de converger vers des représentations communes et standardisées qui améliorent la compréhension collective et donc la gestion du sous-sol.

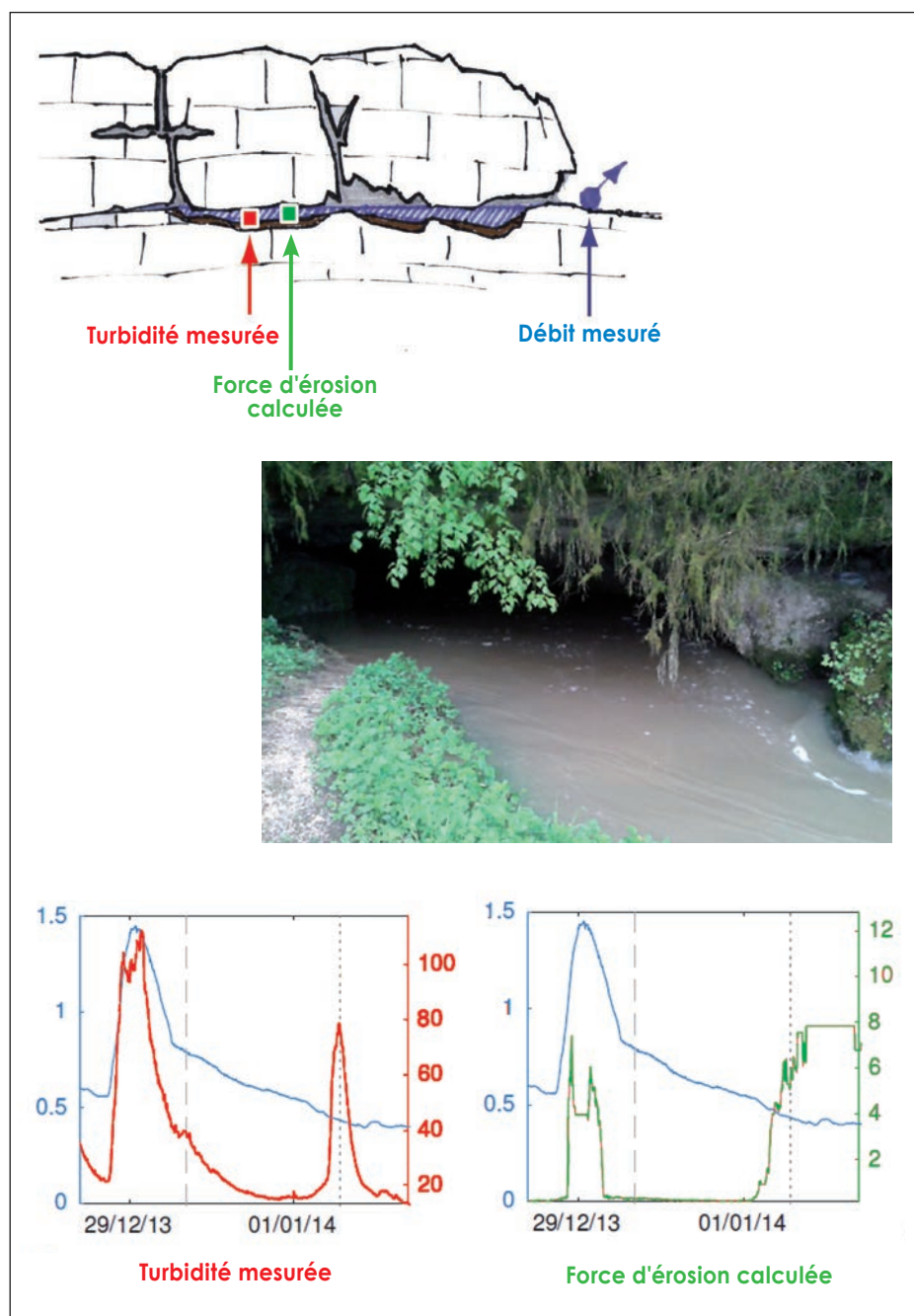
En 20 ans, l'ISSKA a acquis une expérience unique par son expérience et son travail spécifique sur l'acquisition de données dans le karst, sur des outils d'élaboration de modèles conceptuels en 3D et sur l'application d'outils particuliers de simulation des écoulements.



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



Arnauld Malard  
Responsable du projet Visual KARSYS  
arnauld.malard@isska.ch



La turbidité des eaux est clairement induite par les forces d'érosion estimées dans la grotte de Milandre à partir du calcul des vitesses données par un modèle d'écoulement.

### ...et fin de l'analogie

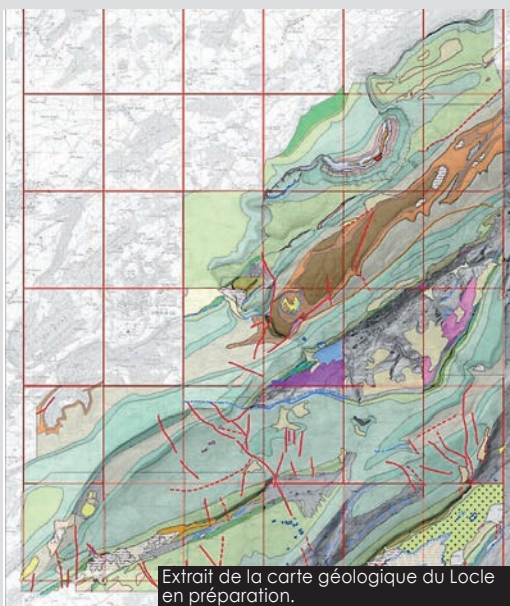
Si vraiment vous désirez optimiser totalement la consommation énergétique du bâtiment que vous avez enfin pu acheter, alors une simulation thermique complète pourrait s'avérer utile. Il faudra alors vérifier le type et l'épaisseur de chaque mur pour en déterminer la conductivité thermique. Il faudra évaluer chaque fenêtre, les portes, le toit, le sous-sol, mais aussi tenir compte des radiateurs, des tuyaux et du type de chauffage. Sur cette base et en fonction de votre objectif énergétique, vous pourrez simuler les pertes de chaleur du bâtiment en fonction de différentes conditions (chauffage, température extérieure, vent, soleil, etc.). Vous pourrez alors estimer l'isolation à poser sur chaque mur et sous le toit. Vous pourrez aussi évaluer quelles fenêtres poser et s'il reste des points particuliers de perte d'énergie. Cette isolation idéale, n'aura cependant de sens que si la gestion du bâtiment en tient compte. Il sera par exemple inutile d'investir dans de l'isolation si parallèlement vous ouvrez les fenêtres en permanence...

Dans la pratique, des simulations aussi détaillées ne se font presque jamais car elles sont fastidieuses et n'ont de sens que si l'on en contrôle les résultats par des mesures réelles des caractéristiques effectives de chaque partie.

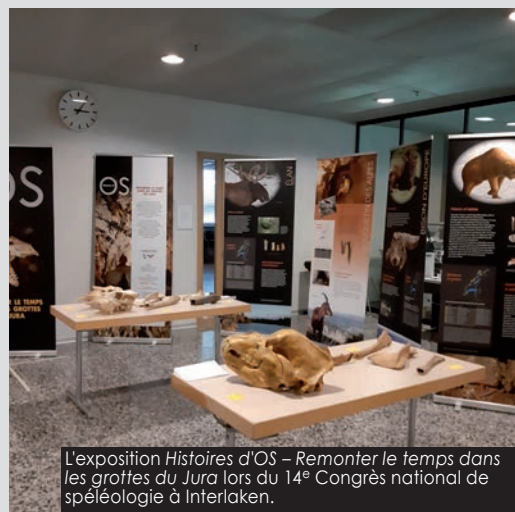
## La carte géologique du Locle

Il y a trois ans, l'ISSKA a obtenu le mandat de Swisstopo pour l'élaboration de la feuille du Locle de l'Atlas géologique de la Suisse. Nous pensons de pouvoir compiler d'une manière efficace cette carte car nous étions déjà en possession de beaucoup de données de la région au format ArcGIS. La combinaison de diverses interprétations géologiques, faites par le passé, nécessitait tout de même des vérifications sur le terrain. Les modèles numériques de terrain de haute résolution nous ont permis d'identifier les dépôts quaternaires, différents affleurement rocheux, et même souvent le suivre les différentes couches à travers le terrain. Ceci permis de démêler certaines zones complexes. Surtout en forêt l'on peut facilement suivre les couches et identifier les zones de complications tectoniques. La carte géologique 1:25'000, des profils géologiques et un brouillon de la notice explicative ont été livrés en 2019 grâce à la collaboration avec A. Pictet, P.-O. Mojon et S. Gogniat. Swisstopo, éditeur de la carte, reprend ces informations pour les mettre dans leur forme définitive, demandant régulièrement des précisions ici et là. Ce travail complémentaire nécessitera encore un travail conséquent si l'on veut garantir la qualité et la bonne réputation des cartes géologiques de Suisse. Ce travail représente encore plus de 200 heures de travail, qui risque de devoir se faire de manière bénévole...

Informations : [urs.eichenberger@isska.ch](mailto:urs.eichenberger@isska.ch)



## Exposition sur les découvertes d'ossements dans les grottes du Jura



L'exposition "**Histoires d'OS – Remonter le temps dans les grottes du Jura**" présente les découvertes les plus remarquables d'ossements anciens réalisées par les spéléologues dans des grottes du Jura suisse romand (cantons de Vaud, Neuchâtel, Jura et Jura bernois). Elle se compose de panneaux didactiques présentant les six principales espèces trouvées (ours des cavernes, ours brun, bouquetin, bison d'Europe, élan, cerf élaphe) et datées au C14 ainsi que des pièces originales collectées par les découvreurs. Un panneau avec une échelle chronologique permet de situer les espèces dans le temps.

En 2019, l'exposition a été présentée lors du Congrès National de Spéléologie «Sinterlaken» (photo). Dès 2020, elle sera présentée dans les Musées des régions jurassiennes concernées (Vaud, Neuchâtel, Jura et Jura bernois).

Informations : [michel.blant@isska.ch](mailto:michel.blant@isska.ch)



## Traçages hydrogéologiques

Notre laboratoire de spectrofluorométrie trouve son régime de croisière et permet de tester les connaissances hydrogéologiques acquises grâce aux modèles avec une approche expérimentale. Plusieurs essais de traçage menés dans la chaîne du Jura ont confirmé les axes de drainage principaux et ainsi précisé la géométrie des aquifères. Qu'il s'agisse de caractériser les ressources en eau ou d'identifier de possibles sources de contaminations, le laboratoire de l'ISSKA travaille en étroite collaboration avec les bureaux d'hydrogéologie et les administrations cantonales et/ou fédérales.

Informations : [marc.luetscher@isska.ch](mailto:marc.luetscher@isska.ch)



Injection de traceurs fluorescents (inoffensifs pour la faune aquatique) dans la rivière souterraine de la grotte de Milandre (JU).

## Eaux souterraines et climat



La source de l'Arvoux dans le lit asséché du Doubs en automne 2018 (NE).

Le changement climatique implique une redistribution des précipitations. Les sécheresses estivales sont de plus en plus fréquentes, de même que les événements pluviométriques extrêmes. Les ressources en eau dans le karst prennent dès lors toute leur importance. En partenariat avec l'Office fédéral de l'environnement et divers cantons de Suisse, l'ISSKA évalue et caractérise les stocks d'eaux souterraines dans le karst. En parallèle, l'étude des concrétions et autres sédiments de grottes apporte une information précieuse sur les conditions climatiques passées. Nous étudions en particulier les changements drastiques documentés en Afrique du nord et leurs impacts sur les populations. Comprendre l'évolution des réserves en eau dans le karst est ainsi fondamental pour mieux s'adapter aux changements à venir.

Informations : [marc.luetscher@isska.ch](mailto:marc.luetscher@isska.ch)

PUBLICATIONS

**BLANT M., REYNAUD SAVIOZ N. & WENGER R.** (2019): Les Bouquetins de la Grotte de Giétroz. Actes du 14<sup>e</sup> Congrès National de Spéléologie, Sinterlaken. Supplément n° 20 à Stalactite, 149-152.

**BLANT M., HÄUSELMANN P. & MÜLLER W.** (2019): Nouvelles découvertes d'élans dans la région d'Habkern (Préalpes bernoises) et synthèse des connaissances. Actes du 14<sup>e</sup> Congrès National de Spéléologie, Sinterlaken. Supplément n° 20 à Stalactite, 145-148.

COMAS-BRU, L., HARRISON, S. P., WERNER, M., REHFELD, K., SCROXTON, N., VEIGA-PIRES, C., **and SISAL working group members** (2019): Evaluating model outputs using integrated global speleothem records of climate change since the last glacial. *Clim. Past*, 15, 1557-1579, <https://doi.org/10.5194/cp-15-1557-2019>.

FREYDIER P., MARTIN J., GUERRIER B., **JEANNIN P.-Y.**, DOUMENC F. (2019): Rheology of cave sediments. Application to vermiculations. *Rheologica Acta*, 58 (10): 675-685.

GRETZINGER J., MOLAK M., REITER E., PFRENGLE S., URBAN C., NEUKANN J., **BLANT M.**, CONRAD N.J., CUPILLARD C., DIMITRIJEVIC V., DRUCKER D.G., HOFMAN-KAMINSKA E., KOWALCYK R., KRAJCARZ M.T., KRAJCARZ M., MÜNZEL S.C., PERESANI M., ROMANDINI M., RUF I., SOLER J., TRELATO G., KRAUSE J., BOCHERENS H. & SCHUENEMANN V. J. (2019): Large-scale mitogenomic analysis of the phylogeography of the Late Pleistocene cave bear. *Scientific Reports* (2019)9 : 10700. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47073-z>.

GUERRIER, B., DOUMENC, F., ROUX, A., MERGUI, S., & **JEANNIN, P.-Y.** (2019): Climatology in shallow caves with negligible ventilation: Heat and mass transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 146.

**HÄUSELMANN, PH.** (2019): Siebenhengste-Hohgant: Vorstellung. - Akten des 14. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung, Interlaken, 37-42.

**JEANNIN P.-Y.** (2019): La Baume de Longeaigne, 30 ans de silence. - *Cavernes*, 62 : 32-49.

REYNAUD SAVIOZ N., **BLANT M. & WENGER R.** (2019): Découvertes paléontologiques au Gouffre de Giétroz Devant dans le valon de Susanfe (Commune d'Évionnaz, Valais). *Bull. Murith*. 136/2018, 21-30.

ROGERSON M., DUBLYANSKY Y., HOFFMANN, D.L., **LUETSCHER M.**, TÖCHTERLE P., SPÖTL C. (2019): Enhanced Mediterranean water cycle during MIS 3 humid phases from speleothem fluid inclusions. *Clim. Past*, 15, 1757-1769, <https://doi.org/10.5194/cp-2018-134>.

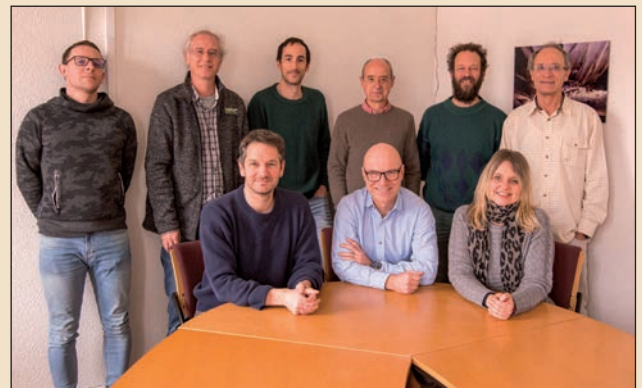
VUILLEUMIER, C., **JEANNIN, P.-Y.**, & PERROCHET, P. (2019). Physics-based fine-scale numerical model of a karst system (MilandreCave, Switzerland). *Hydrogeology Journal*, 27(7), 2347-2363.

WILHELM B., BALLESTEROS CÁNOVAS J.A., MACDONALD N., TOONEN W.H.J., BAKER V., BARRIENDOS M., BENITO G., BRAUER A., CORELLA J.P., DENNISTON R., GLASER R., IONITA M., KAHLE M., LIU T., **LUETSCHER M.**, MACKLIN M., MUDELSEE M., MUNOZ S., SCHULTE L., ST GEORGE S., STOFFEL M., WETTER O. (2019): Interpreting historical, botanical, and geological evidence to aid preparations for future floods. *WIREs water*, 6: null. doi: 10.1002/wat2.1318.

COLLABORATEURS

Collaborateurs réguliers

Denis Blant	Science, patrimoine (50%)
Michel Blant	Science, archéozoologie (25%)
Constanze Bonardo	Secrétariat (5%)
Urs Eichenberger	Science, enseignement (75%)
Philipp Häuselmann	Science (33%)
Pierre-Yves Jeannin	Science, administration (90%)
Marc Luetscher	Science, administration (80%)
Arnaud Malard	Science (80%)
Carole Mettler	Secrétariat (45%)
Georges Naman	Informatique (35%)
Eric Weber	Science (80%)



Stagiaires / civilistes

Miguel Bartolomé	Stagiaire, post-doc
Maxime Beck	Civiliste
Paul Berclaz	Civiliste
Raymond Erwing	Civiliste
Sébastien Toth	Civiliste
Marie Vallat	Stagiaire, étudiante
Yiwei Wang	Stagiaire, post-doc

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. Ces contributions sont certes indirectes, puisque leur portée dépasse peu le cadre de notre petit groupe de personnes. Elles laissent cependant des traces dans l'esprit des nombreux stagiaires, étudiants et civilistes que nous accueillons et encadrons chaque année.

RESEAUX SOCIAUX

Suivez les actualités de l'ISSKA sur les réseaux sociaux



@Isska\_Siska



@isska.siska

MEDIAS

**Presse:** ArcInfo • Die Alpen • Littoral Région  
• Pays Neuchâtelois • Schweiz am Wochenende  
**TV+radios:** Canal Alpha • RTS Un



## COMPTES & BILAN

COMPTE DE RESULTAT DE L'EXERCICE	2019	2018
	CHF	CHF
Mandats	562 610,57	774 309,52
Subventions	253 626,00	285 000,00
Soutien de la Loterie Romande	54 000,00	16 000,00
Ventes	7 227,60	3 693,94
Dons	19 578,20	11 875,00
Autres produits	31 705,77	36 356,82
TVA	(2 326,98)	(3 413,15)
<b>Total des produits</b>	<b>926 421,16</b>	<b>1 123 822,13</b>
Matériel durable	(25 198,74)	(6 303,67)
Frais d'impression	(2 255,11)	(1 656,92)
Consommables	(49 162,76)	(40 740,67)
Frais de déplacement	(25 628,87)	(32 472,18)
Sous-traitance	(200 221,85)	(230 166,25)
Autres frais généraux	(21 936,34)	(41 636,44)
<b>Marge brute I</b>	<b>602 017,49</b>	<b>770 846,00</b>
Frais de personnel	(627 787,65)	(713 960,90)
<b>Marge brute II</b>	<b>(25 770,16)</b>	<b>56 885,10</b>
Frais de locaux	(32 136,01)	(31 499,42)
Assurances commerciales	(4 719,40)	(5 012,70)
Frais généraux administration	(3 600,00)	(3 200,00)
<b>Résultat d'exploitation avant intérêts, charges et produits hors exploitation</b>	<b>(66 225,57)</b>	<b>17 172,98</b>
Produits financiers	2 023,12	694,34
Charges financières	2 133,85	(1 470,79)
Variation de valeur sur titres	0,00	(1 111,15)
Attribution à la provision pour Prévoyance.ne	0,00	(64 314,00)
<b>Résultat de l'exercice avant attribution au fonds de réserve</b>	<b>(62 068,60)</b>	<b>(49 028,62)</b>
Attribution au fonds de réserve	0,00	0,00
<b>EXCEDENT DE (DEPENSES) / RECETTES</b>	<b>(62 068,60)</b>	<b>(49 028,62)</b>



**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 2019.

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 ne sont pas conformes à la loi et à l'acte de fondation.

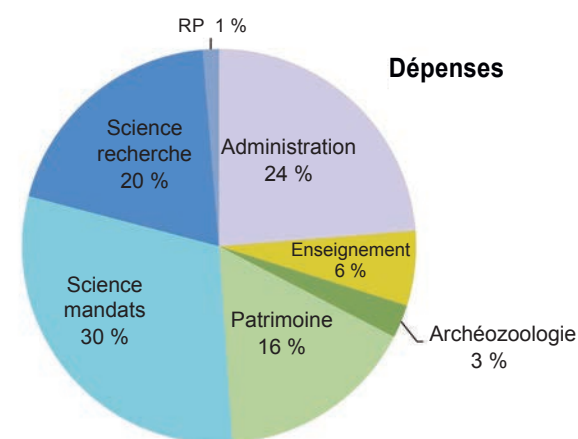
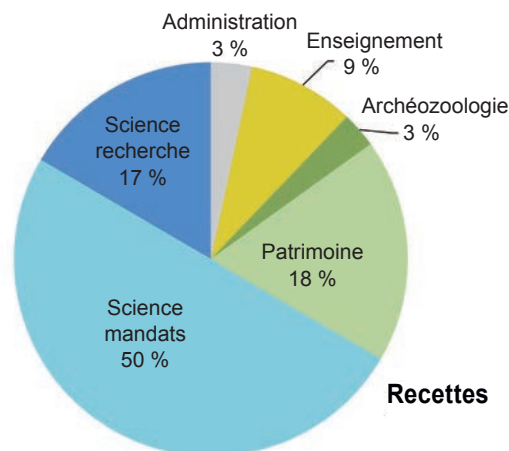
La Chaux-de-Fonds, le 20 mars 2020

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

  
**Kevin Lombard**  
Réviseur agréé

BILAN AU 31 DECEMBRE	2019	2018
	CHF	CHF
<b>A C T I F</b>		
<b>Actif circulant</b>		
Trésorerie et actifs cotés en bourse détenus à ct		
• liquidités	310 845,55	328 299,24
• titres cotés à court terme	23 129,65	21 658,91
Créances résultant de ventes de biens et de prestations de services		
• envers des tiers	172 387,59	203 374,37
Autres créances à court terme		
• envers des tiers	165,91	719,57
Prestations de services non facturées		
• travaux en cours	32 537,00	44 242,42
Actifs de régularisation	13 569,65	3 203,40
	<b>552 635,35</b>	<b>601 497,91</b>
<b>Actif immobilisé</b>		
Immobilisations financières	1 557,18	1 556,80
<b>Total de l'actif</b>	<b>554 192,53</b>	<b>603 054,41</b>

BILAN AU 31 DECEMBRE	2019	2018
	CHF	CHF
<b>P A S S I F</b>		
<b>Capitaux étrangers à court terme</b>		
Dettes résultant de l'achat de biens et de prestations de services	128 233,67	92 564,25
Dettes à court terme portant intérêt	20 000,00	10 000,00
Autres dettes à court terme envers des tiers	20 869,75	28 377,10
Passifs de régularisation	67 994,30	55 435,65
	<b>237 097,72</b>	<b>186 377,00</b>
<b>Capitaux étrangers à long terme</b>		
Dettes à long terme portant intérêt	110 000,00	40 000,00
Provisions	0,00	107 514,00
	<b>110 000,00</b>	<b>147 514,00</b>
<b>Capitaux propres</b>		
Capital de dotation	240 000,00	240 000,00
Fonds de réserves	120 000,00	240 000,00
Excédent de dépenses au bilan		
• excédent de dépenses reporté	(90 836,59)	(41 807,97)
• excédent de recettes	(62 068,60)	(49 028,62)
	<b>207 094,81</b>	<b>269 163,41</b>
<b>TOTAL DU PASSIF</b>	<b>554 192,53</b>	<b>603 054,41</b>



# 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 les universités de Zurich, Berne, Fribourg, Lausanne et Neuchâtel.

## 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
- Protection du patrimoine karstique
- Paléontologie-ostéologie
- Enseignement
- Exposition SPELAION

## AVEC LE SOUTIEN DE

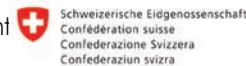


## FONDATEURS

- 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<sup>e</sup> Congrès international de spéléologie



## MEMBRES DU CONSEIL DE FONDATION

Paul Borer (Canton de Berne)

Didier Cailhol (SC-Jura)

Patrick Deriaz

Kurt Graf (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)

Pierre Perrochet (Canton de Neuchâtel)

Jean-Louis Regez (SGH-Basel)

Edouard Roth (Canton du Jura)

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

Michael Sinreich (Office fédéral de l'env. - OFEV)

Mirjam Widmer (AGS-Regensdorf)

Andres Wildberger (Société suisse de spéléologie)

## 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. Nous remercions en particulier cette année le donateur anonyme qui a versé 6000.- sur notre compte. Ce montant a permis d'assurer le suivi de diplômés et de thèses, ainsi que de fournir un soutien scientifique aux spéléos suisses.

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.

