

## RAPPORT ANNUEL 2016

piège à CO<sub>2</sub>



énergie renouvelable



eaux potables



biodiversité



# S O M M A I R E

---

FOCUS

## Karst et développement durable

- 4 Donner de l'eau à plus d'un milliard de personnes grâce au karst
- 6 Karst et énergies renouvelables
- 7 Comprendre et contrôler le CO<sub>2</sub> atmosphérique
- 8 Vie sur terre: création d'un laboratoire de la «critical zone» en milieux carbonatés

## Cartographie

- 10 La photogrammétrie appliquée aux levés souterrains

## Gestion du karst

- 11 Vaud: reconnaissance officielle de la valeur des sites karstiques

## 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 2016 :

- ▶ Office fédéral de l'environnement (OFEV)
- ▶ Office fédéral des routes (OFROU)
- ▶ Office fédéral de l'énergie (OFEN)
- ▶ Office fédéral de topographie (Swisstopo)
- ▶ Chemin de Fer Fédéraux (CFF)
- ▶ Direction régionale des affaires culturelles – Aquitaine (F) (DRAC-AQ)
- ▶ Bureau de recherche 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)
- ▶ Institut pour les technologies 4D (i4Ds)
- ▶ Société électrique du Val-de-Travers (SEVT)



## Le rapport annuel de l'ISSKA fait peau neuve !

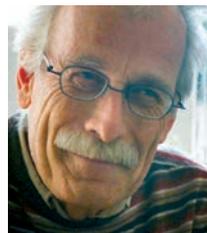
Vous avez entre les mains une publication qui reflète différemment les grands axes de travail de l'Institut. Plutôt que de tenter de vous parler un peu de toutes les activités, nous avons choisi un thème significatif de l'engagement de l'ISSKA dans la société scientifique et civile d'aujourd'hui. Un thème à la mode diront certains, et pourquoi pas ? Cela reflète tout simplement la pertinence des choix de l'Institut, loin des tours d'ivoire de la recherche absconse mais au cœur des préoccupations et besoins actuels et urgents de l'humanité.

Le développement durable n'est évidemment pas notre seul axe de travail mais, en le mettant en évidence dans le rapport de cette année, nous souhaitons démontrer que le karst, qui constitue une part significative des territoires mondiaux, a besoin d'une approche spécifique pour y trouver les solutions à quelques problèmes cruciaux de notre société : recherche de l'eau, transfert vers les énergies renouvelables, contrôle du CO<sub>2</sub>, principal gaz à effet de serre dont on sait maintenant sans conteste le rôle dans la crise climatique amorcée.

On a pu longtemps se représenter l'ISSKA comme la chapelle des spécialistes d'un monde étrange – le milieu souterrain – mais on voit ainsi qu'il est tout autre chose : le carrefour des compétences indispensables à l'étude de larges problèmes actuels et à la prospection de solutions originales et adaptées.

Les autres thèmes de travail de l'Institut ne seront pas oubliés mais seulement esquissés dans une série de « brèves » qui permettent de se rendre compte de l'étendue et de la variété des travaux effectués ou en cours. Je vous souhaite une agréable et riche lecture et vous engage à nous faire part de vos réactions. L'ISSKA n'est pas une structure figée mais en constant renouvellement.

*Jean-Claude Lalou*  
*président du Conseil de fondation*



## Karst et développement durable

**L'ONU propose 17 objectifs destinés à tendre vers un développement durable de notre planète. Par ses activités, l'ISSKA contribue directement à plusieurs d'entre eux. Nous esquissons ici nos actions dans ces domaines en nous basant d'une part sur les travaux réalisés ou en cours de réalisation et, d'autre part, sur le potentiel important de recherche et de développement qui existe pour chacun de ces thèmes.**

### Donner de l'eau à plus d'un milliard de personnes grâce au karst

Le karst couvre au moins 20% des terres émergées, mais représente plus de 50% des eaux souterraines de la planète. Environ ¼ des habitants boivent de l'eau issue du karst. De larges parties arides du globe (pourtour méditerranéen, Moyen Orient, Chine, etc.) sont situées en régions calcaires. Les réserves et même les ressources (recharge) d'eau souterraine bien qu'importantes, sont cependant souvent mal connues, donc mal exploitées. Dans les pays tempérés, la qualité des eaux des aquifères karstiques est menacée par les activités humaines.



*Paysage aride des plateaux d'altitude de Crète.*



Pierre-Yves Jeannin

Dans ce contexte, de nombreux défis se dessinent pour les hydrogéologues du karst. La pression sur cette précieuse ressource va fortement augmenter, notamment en conséquence du réchauffement climatique et de l'évolution démographique mondiale. Non seulement la demande augmente au gré du nombre et des besoins des consommateurs, mais la ressource diminue puisque la végétation tend à consommer de plus en plus d'eau, retransmettant d'autant la recharge des

nappes souterraines. Cette évolution nécessitera l'exploitation de nouvelles ressources ou l'optimisation des méthodes d'exploitation des ressources existantes. Elle impliquera une approche interdisciplinaire puisque le climat, la météo, la végétation, le sol et les roches jouent tous un rôle qu'il n'est pas facile de quantifier avec précision. Partout, les eaux souterraines devront à l'avenir être mieux exploitées et gérées plus durablement.

Fort de ces constats, l'ISSKA s'engage pour l'amélioration des connaissances et des techniques permettant de mieux comprendre les écoulements souterrains et d'en faciliter l'exploitation. Le développement de l'approche KARSYS a été une première étape vers l'amélioration du diagnostic et de l'exploitation de ces ressources.

## Non seulement la demande augmente, mais la ressource diminue !

L'approche permet de savoir où se trouvent les eaux souterraines, quels sont les principaux axes de drainage et quel est le bassin d'alimentation d'une source karstique ou d'un puits de pompage. Après plus de 6 ans de développement, la méthode est largement appliquée en Suisse et à l'étranger (France, Irlande, Espagne, Slovénie) pour les besoins des administrations, mais également pour le secteur privé. Les résultats qu'elle fournit permettent d'améliorer sensiblement la compréhension et la gestion des eaux souterraines karstiques. Sur cette base, le projet VisualKARSYS, soutenu par le fond de développements technologiques dans le domaine de l'environnement (OFEV), a été mis en place dans le but de faciliter l'utilisation



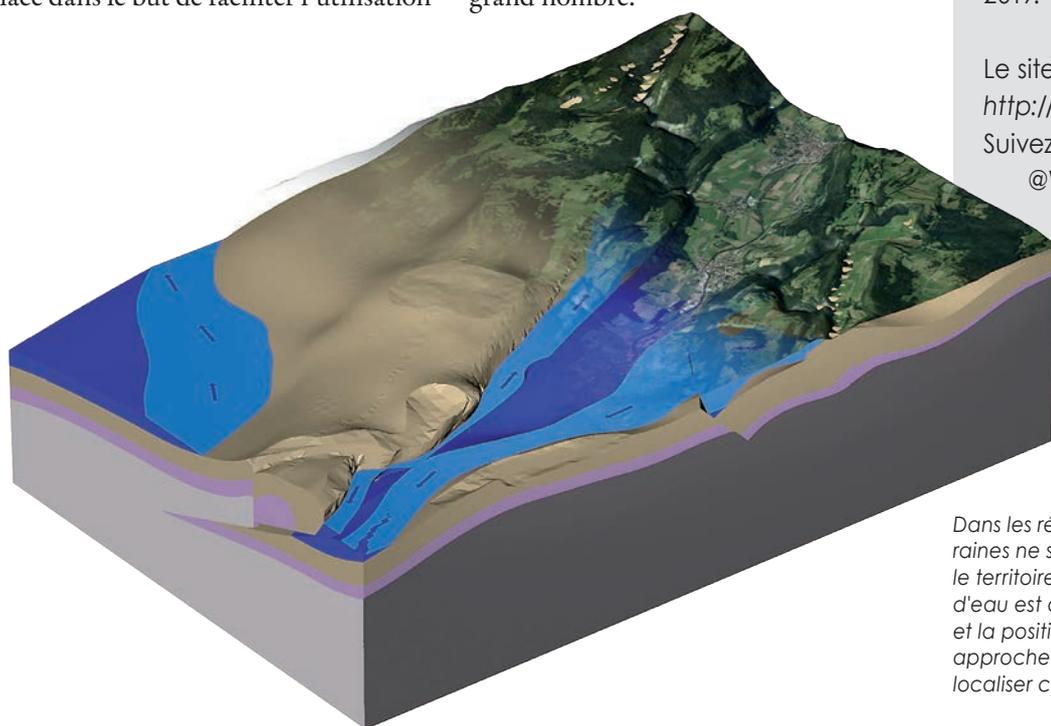
Massif karstique à proximité de Ras el Khaïmah aux Emirats Arabes Unis.

des outils de l'ISSKA par leur mise à disposition dans un service en ligne. Ces derniers permettront de mieux comprendre les systèmes karstiques, d'en faciliter le captage et l'exploitation et d'en améliorer la protection. Par la mise à disposition de ces outils dans un service en ligne, l'ISSKA rendra leur utilisation possible par les spécialistes du karst du monde entier et aura ainsi participé à hauteur de ses moyens à améliorer l'accès à l'eau potable du plus grand nombre.



Grâce au soutien de l'OFEV pour la promotion des technologies environnementales, l'ISSKA développe une plateforme d'outils pour aider à la documentation et à la gestion des ressources en eau en milieu karstique. Le projet Visual KARSYS, en collaboration avec i4ds (Institute of 4D technologies, FHNW School of Engineering) a débuté en juillet 2016 et il est prévu pour une durée de trois ans. Différents cantons et offices géologiques à l'international sont impliqués dans le projet et pourront tester les fonctionnalités au fur et à mesure de leur développement. A terme, la plateforme permettra aux utilisateurs d'appliquer KARSYS sur leurs sites et aux décideurs de consulter et d'utiliser les résultats. Des extensions pour des applications de génie civil viendront s'ajouter après 2019.

Le site Internet du projet :  
<http://visualkarsys.isska.ch>  
 Suivez Visual KARSYS sur Twitter  
 @Visual\_KARSYS



Dans les régions calcaires, les eaux souterraines ne sont pas également distribuées sur le territoire. Le développement des nappes d'eau est conditionné par la géologie locale et la position des niveaux de base. Sans une approche de type KARSYS, il est difficile de localiser ces nappes.

## Karst et énergies renouvelables

La société à 2'000W sans nucléaire, est l'objectif énergétique fixé par la Confédération à l'horizon 2100. Avec une puissance actuelle supérieure à 6'000W par habitant, ce sont deux tiers de nos consommations énergétiques qui doivent être économisés. En outre, à l'horizon 2050, la production d'énergies renouvelables et locales (hors hydraulique) doit être augmentée de 22,6 TWh/an, alors qu'en 2015 elle s'élevait à 2,8 TWh. De nombreuses opportunités sont offertes par la nature en Suisse et ailleurs, mais le risque de dérive associée est grand et ces développements ne doivent pas se faire au dépend de la protection de l'environnement naturel.

Par son fonctionnement hydrogéologique particulier, l'environnement karstique représente tant des opportunités que des contraintes. Au titre des opportunités, la double perméabilité des systèmes karstiques (très faible dans la roche et très élevée dans les conduits) est particulièrement efficace pour drainer la chaleur terrestre et constitue de fait une ressource géothermique considérable. Ceci est vrai tant pour les karsts profonds, dits hypogéniques, que pour les karsts superficiels, dits allogéniques. Les flux élevés d'eaux souterraines amènent naturellement la chaleur des massifs vers les sources karstiques. A l'inverse, la zone vadose des massifs (zones au-dessus des niveaux de bases hydrologiques), qui peut atteindre une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, présente un gradient géothermique très faible. L'exploitation de ces zones par des sondes géothermiques verticales est ainsi bien moins favorable.



La source temporaire du Torrent (Val-de-Ruz) en crue. La capacité de stockage et de mise en charge des systèmes karstiques représente un potentiel hydroélectrique considérable, qui n'est aujourd'hui pas exploité.

En termes de production hydroélectrique, le karst est souvent perçu comme une contrainte majeure. En effet, l'ensemble de la surface des massifs karstiques est particulièrement perméable et représente autant de pertes pour la production hydroélectrique classique. Mais l'eau perdue en surface est bien présente sous terre et les réservoirs karstiques pourraient à l'avenir jouer un rôle important en termes de stockage et de production hydroélectrique.

Face aux défis de la transition énergétique, l'ISSKA se veut pragmatique. Oui, le karst représente des opportunités, mais non, cela ne se fera pas au dépend de cet environnement naturel. Pour permettre une exploitation optimisée de ces ressources et garantir également la protection nécessaire, l'ISSKA s'engage depuis des années dans de nombreux projets. Que ce soit des projets prospectifs tels que l'évaluation de potentiels hydroélectrique ou géothermique souterrain ou que ce soit des projets concrets tels que des parcs éoliens, l'ISSKA apporte son expertise pour permettre une exploitation efficace des ressources que nous offre ce domaine, tout en défendant la protection de cet environnement exceptionnel.

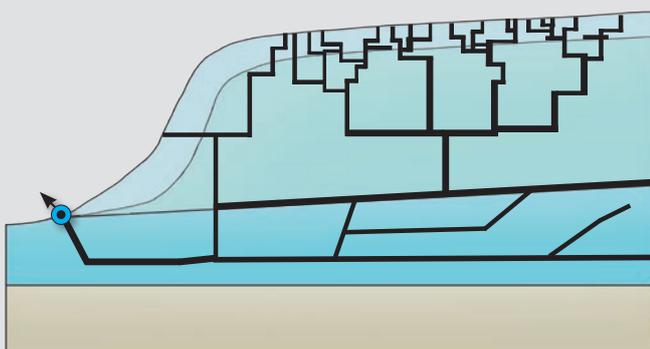
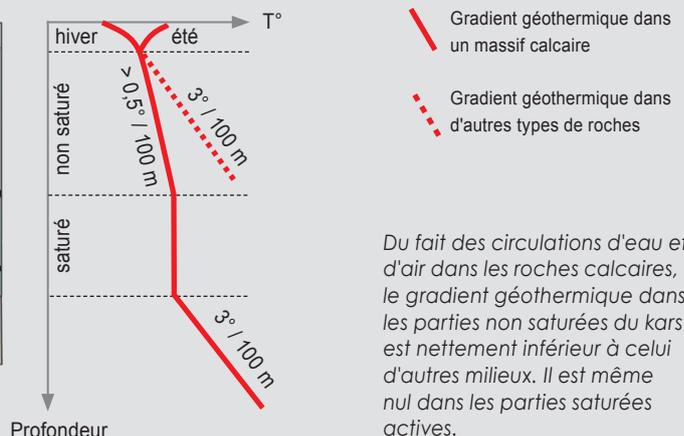


Figure d'après Luetscher et Jeannin (2004): Temperature distribution in karst systems: the role of air and water fluxes. Terra Nova, 16, 344-350.



## Comprendre et contrôler le CO<sub>2</sub> atmosphérique

L'utilisation de combustibles fossiles (hydrocarbures) induit une augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique, qui accroît l'effet de serre et réchauffe la planète. Le réservoir de CO<sub>2</sub> le plus important sur Terre est (de loin) constitué par les roches calcaires (de l'ordre de 30'000'000 Gt. En comparaison, la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique est relativement faible (750 Gt). Le flux de CO<sub>2</sub> lié aux combustibles fossiles est de l'ordre de 5 à 6 Gt/an.

La dissolution des calcaires représente un piège de CO<sub>2</sub> dans la mesure où pour dissoudre 1 mol de calcaire, il faut 1 mol de CO<sub>2</sub> atmosphérique. L'essentiel du calcaire dissous sur les continents atteint l'océan sous forme ionique et enrichit le stock océanique (39'000 Gt) où il prendra plusieurs siècles ou milliers d'années pour retourner dans l'atmosphère (lors de la précipitation du calcaire marin). Ce puits de carbone représente un flux de 0,1 à 0,5 Gt/an (Gombert et al 2002), mais pourrait éventuellement être plus élevé. Ce flux est souvent oublié dans les schémas usuels présentant le cycle du carbone. Les mesures récentes indiquent que cette valeur augmente en lien avec le réchauffement climatique (Jeannin et al 2016, Calmels et al 2014). Les estimations de ce flux total à l'échelle de

la planète sont peu nombreuses et peu précises. Il conviendrait de les préciser. Nous pensons qu'il est envisageable d'augmenter l'importance de ce puits de CO<sub>2</sub> de manière artificielle. Arriver à une valeur de l'ordre de 1 Gt/an est probablement envisageable avec un impact limité sur l'environnement. Cette piste mérite d'être explorée, ce qui requiert un effort de recherche qui dépasse les capacités de l'ISSKA.

## Le réservoir de CO<sub>2</sub> le plus important sur Terre est constitué par les roches calcaires

L'impact sur l'environnement d'une telle augmentation du flux de CO<sub>2</sub> dissous vers la mer n'est pas connu et devrait être évalué. Il en est de même pour la faisabilité et la manière de procéder pour atteindre ces objectifs. Les défis sont donc nombreux et dépassent largement les possibilités de l'ISSKA.

Il est aussi envisageable de fixer du CO<sub>2</sub> atmosphérique en précipitant du calcaire, moyennant de trouver une source de calcium (ou éventuellement de magnésium) autre que la dissolution de calcaire (ou de dolomie). Il est connu que l'altération des silicates calciques représente un puits de carbone. Hélas, les silicates sont moins solubles et leur



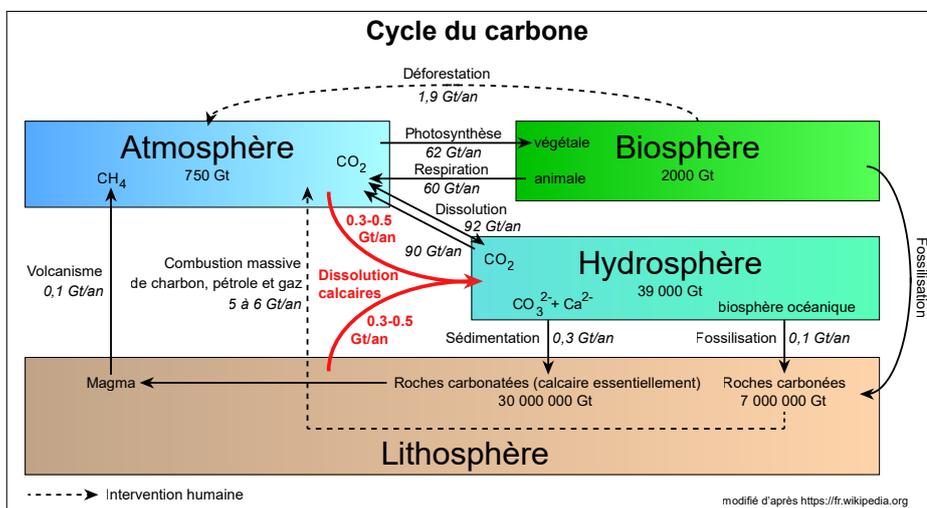
La grotte de Milandre (JU), avec sa rivière souterraine, est utilisée comme laboratoire depuis de nombreuses années. Elle constitue un site de première importance pour mener de nombreuses études en milieu hypogé.

dégradation est lente. D'autres sources de Ca (ou Mg) peuvent cependant être envisagées (p.ex. anhydrite, gypse ou certaines argiles). La précipitation de calcaire pourrait alors représenter un puits de carbone qui s'ajoute à celui décrit précédemment.

De telles recherches requièrent passablement d'infrastructures puisqu'elles nécessitent des mesures de terrain, des analyses d'échantillons, des expérimentations sur le terrain et en laboratoire, ainsi que le traitement de nombreuses données et des modélisations, ceci dans une large gamme de domaines (karst, rivières, milieu marin...).

L'ISSKA est un spécialiste de l'hydrogéologie karstique. Il dispose d'un laboratoire souterrain naturel permettant de mesurer les flux de CO<sub>2</sub> au niveau du sol, de l'épikarst, d'une rivière souterraine et des sources karstiques. Un tel laboratoire permet d'établir des liens entre dissolution et occupation du sol, ainsi qu'entre climat et occupation du sol. L'ISSKA a déjà rassemblé des données de nombreux autres sites pour comparaison ce qui nous a permis de sortir quelques premières publications.

Pour avancer dans ce domaine, une équipe de recherche devrait être constituée incluant des chercheurs de plusieurs domaines et l'ISSKA cherche actuellement des partenaires pour constituer cette équipe.



## Vie sur Terre : création d'un laboratoire de la « critical zone » en milieux carbonatés

La « critical zone » qui s'étend de la cime des arbres à la base des circulations d'eaux souterraines est un concept développé et étudié aux États-Unis depuis 2003. Elle correspond à la zone où « roche, sol, eau, air et organismes vivants interagissent et modèlent la surface terrestre ». En région carbonatée, elle présente au-moins 4 spécificités par rapport aux environnements non carbonatés.

- Épaisseur plus importante
- Pénétrabilité (humain et autres organismes)
- Ventilation
- Flux d'eau souterrains plus importants

C'est principalement l'hétérogénéité spatiale du milieu karstique qui en fait un cas extrême par rapport au concept de critical zone. Du point de vue de la perméabilité, le massif est constitué d'îlots avec des conditions d'échanges très lentes (la roche calcaire) entre lesquels se développe un réseau fortement interconnecté de zones très perméables (les conduits karstiques). Du point de vue hydrologique, on distingue habituellement les parties remplies d'eau, les parties remplies d'air et les parties temporairement saturées en eau. Finalement, du point de vue thermique, la partie superficielle (sol et épikarst ou entrée de grotte) s'équilibre avec le milieu extérieur, la zone

intermédiaire présente des variations annuelles et la zone profonde présente une température constante. Cet ensemble de contrastes (perméabilité, conditions hydrologiques et conditions thermiques) permettent d'identifier 16 types de milieux ou écosystèmes aux caractéristiques très différentes et en contact étroit les uns avec les autres.

### Le karst est intéressant pour l'étude de la colonisation biologique des milieux extrêmes

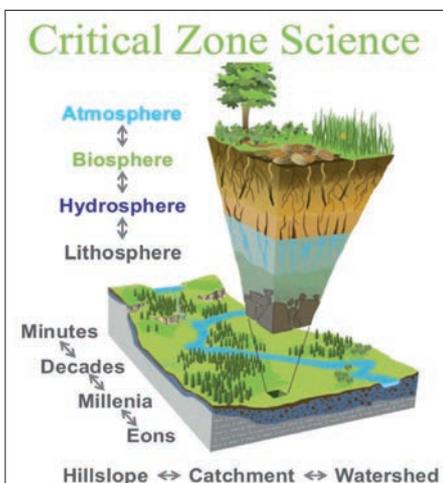
Certains de ces écosystèmes particuliers sont le cadre de vie de nombreuses espèces surprenantes tels que des scorpions vivant à plus de 1000 m sous terre, la *Gelyella monardii* qui s'est réfugiée dans le karst et y évolue indépendamment depuis le Miocène ou encore le *Proteus* dont l'organisme parcimonieux permet une longévité de plusieurs dizaines d'années. Au-delà de la découverte de nouvelles espèces animales et de leur inventarisation, ce sont leurs mode et conditions de vie qui sont le moins bien connus.

Au sein des 16 écosystèmes décrits précédemment, la vie est conditionnée par différents flux (carbone, lumière, chaleur, air, eau, azote et phosphore) susceptibles d'apporter l'énergie vitale nécessaire. Elle est donc tributaire des caractéristiques physiques du milieu. Parmi les quelque 112 systèmes physiques identifiés qui permettraient d'approcher la gamme de conditions de vie dans le milieu karstique souterrain, seuls quelques-uns ont fait l'objet d'investigations et de mesures. Pour la grande majorité d'entre eux, ni l'ordre de grandeur des flux vitaux, ni la biodiversité ni même simplement la présence de vie ne sont connus.

La compréhension de ces milieux présente un intérêt évident pour l'étude de la colonisation biologique des milieux extrêmes, par exemple pour l'exploration des planètes. Plus près de nous, de nombreux domaines bénéficieraient de l'accroissement de nos connaissances sur les flux traversant les différents sous-systèmes du milieu karstique :

- Eaux souterraines (autoépuration, transport, génération de crues)
- Écosystèmes: biodiversité, évolution des espèces, biologie des milieux extrêmes de la Terre
- Reconstitution paléoclimatique
- Évolution des sols en régions karstiques (en particulier érosion et réaction aux changements climatiques)
- Géothermie en région carbonatée
- Radon, méthane, CO<sub>2</sub>, autres gaz
- Conservation de sites archéologiques

Convaincue de l'importance d'une connaissance approfondie des flux dans les différents compartiments du karst, l'ISSKA finance le maintien d'une importante infrastructure de mesure dans la grotte de Milandre, cela en parallèle au suivi environnemental de cette grotte en lien avec le tunnel autoroutier du Neubois. Cette maintenance est certes insuffisante, mais elle constitue de bonnes conditions initiales pour la future installation d'un laboratoire souterrain sur ce site. Un tel laboratoire permettrait d'approcher les flux dans de nombreux compartiments du karst et d'en caractériser la biodiversité et les écosystèmes. La plateforme de biospéléologie créée par l'ISSKA voici quelques années est aussi un premier élément concret dans cette voie. Les premières investigations permettent d'esquisser l'ordre de grandeur de certains des flux (en particulier l'eau, la chaleur et le CO<sub>2</sub>). L'effort ne fait que commencer et nous espérons motiver d'autres institutions suisses à travailler avec nous sur ce sujet. Les premières publications sont en préparation.



## La boîte noire du karst

En décembre 2009, des spéléologues font une halte dans les profondeurs du Hölloch, à 1500 m de l'entrée et 200 m sous la surface du sol. Soudain, un minuscule animal est repéré près des déchets du bivouac. Il s'agit d'un pseudoscorpion, dont il existe plusieurs espèces troglobies. Récolté pour détermination, cet arachnide s'avère différent des autres spécimens connus.

C'est une nouvelle espèce, que décrit V. Mahnert et qu'il nomme *Pseudoblothrus infernus*.

Cette découverte récente illustre parfaitement la "boîte noire" que constitue le karst, boîte qui n'est pas du tout vide, mais qui abrite bien de nombreux organismes. Certes, on est loin de la diversité de la faune du sol ou des planctons marins, mais écosystème il y a bel et bien. Un écosystème qui s'est développé sur les spécificités du milieu : absence de lumière, température constante, densité de matières organiques limitée...

Bien que les premières connaissances datent déjà du XIX<sup>e</sup> siècle, le contenu de la boîte reste encore mal inventorié. Constitués de nombreux organismes reliques, réfugiés sous terre depuis des millions d'années, les faunes souterraines s'avèrent spécifiques à des bassins compartimentés. Si l'on superpose encore à ce schéma une stratification verticale en fonction des flux, le plus évident étant l'eau, absente

des zones vadoses et permanente dans les zones noyées, la structure du milieu apparaît dans toute sa complexité. Les exigences des espèces (autécologie), le fonctionnement des biocénoses (synécologie) et les facteurs affectant les écosystèmes (climatologie) sont encore largement méconnus. A n'en pas douter, la boîte réserve donc encore de nombreuses surprises.



Les nouveaux outils à disposition dans le domaine génétique, comme l'amplification de l'ADN environnemental, ouvrent de nouvelles perspectives de recherche. Grâce à ses liens avec les milieux scientifiques et spéléologiques, l'ISSKA est à même de favoriser le développement des connaissances du milieu souterrain en prenant les précautions nécessaires pour limiter les risques sur des milieux dont la stabilité s'évoque en millénaires.

## Conclusion

Qu'il s'agisse d'accès à l'eau potable ou à une énergie propre et locale, ou encore de préservation du climat et de la biosphère, les enjeux sont colossaux, mais les défis le sont aussi ! En effet, le lien entre ces enjeux globaux et l'environnement karstique n'est souvent pas pris en compte. Il importe donc de les identifier, de les comprendre et de les faire reconnaître, puis de proposer des solutions pour améliorer la situation.

En ce sens, les nombreux projets réalisés ou en cours à l'ISSKA visent des objectifs communs qui pourraient être résumés comme suit : mieux connaître pour mieux gérer et mieux protéger. Au travers des quatre exemples

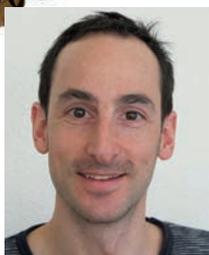
proposés ci-dessus, on constate combien la connaissance du milieu karstique est encore lacunaire et combien ces lacunes pèsent sur notre capacité à gérer et à protéger ce milieu. A l'inverse, les perspectives de recherche évoquées démontrent d'une part l'importance des enjeux et d'autre part que des solutions existent.

Les défis sont colossaux ? L'ISSKA est prêt à retoucher ses manches pour aller de l'avant, c'est pourquoi nous espérons que les travaux esquissés ici pourront se développer dans les années à venir. Cependant, seuls, nous sommes trop petits, c'est pourquoi nous cherchons d'autres institutions pour collaborer à cet effort.



## La photogrammétrie appliquée aux levés souterrains

Dès 2015, l'ISSKA s'est intéressé à la photogrammétrie afin de déterminer dans quelle mesure cette technique pourrait être utilisée lors de levés souterrains.



Eric Weber

La photogrammétrie permet de reconstituer un objet en trois dimensions, à partir de deux ou plusieurs images prises de points de vue différents. Les bases mathématiques sont connues depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, mais le véritable potentiel de cette technique est apparu en même temps que la photographie numérique et l'augmentation considérable de la puissance de calcul des ordinateurs.

En 2015, l'ISSKA a commencé à développer cette technique sous terre avec l'aide d'un stagiaire géomètre. Nous avons ensuite affiné la procédure de levé afin d'obtenir le meilleur résultat en un minimum de temps. Les derniers essais montrent qu'il est possible de lever une centaine de mètres de galerie en une heure ou même moins en filmant la galerie. Le

traitement des données demande quatre à cinq fois plus de temps que le levé. Récemment, l'ISSKA s'est doté d'un appareil photo reflex et d'un objectif grand angulaire afin d'améliorer la qualité des levés. La précision dépend de plusieurs paramètres techniques (distance, capteur, netteté, couverture, traitement), mais surtout du but du levé. Pour un levé standard, il est possible de mettre en évidence des détails centimétriques, cependant la précision géométrique d'un tracé sinueux n'est pas forcément meilleur que celle d'un levé spéléo standard.

A noter également que l'ISSKA utilise la photogrammétrie pour des relevés très précis (40-50 microns) de portions de parois de la grotte de Lascaux. Ces levés en 3D vont permettre de suivre très précisément l'évolution des amas d'argile (vermiculations) qui endommagent certaines parties des fresques de cette cavité mondialement connue.

En parallèle à nos tests, des levés ont déjà été réalisés dans la grotte de Cotencher, le tunnel de Twann, sur des portions de parois de la grotte de Lascaux et dans quelques effondrements naturels survenus dans le Jura.

### Avantages de la méthode

- Mesures non perturbées par la présence d'objets métalliques (galeries artificielles)
- Levé très précis (résolution <10 cm). Très utile pour les mesures en grottes préhistoriques.
- S'applique aussi bien à l'échelle kilométrique que millimétrique, mais dépend avant tout de la qualité de l'image.
- Permet de suivre l'évolution d'un effondrement et de calculer son volume.

## Vaud : reconnaissance officielle de la valeur des sites karstiques

Une convention a été signée avec le Canton de Vaud dans le but d'assurer la conservation du patrimoine spéléologique et karstique.



Rémy Wenger

Dès sa création en 2000, plusieurs projets ont conduit l'ISSKA à être actif dans le canton de Vaud. Dans le domaine de la protection de l'environnement par exemple, plus de 130 sites (grottes, gouffres et dolines) ont été assainis dans ce canton grâce à une bonne

coopération avec la Direction générale de l'environnement (DGE).

Mais le canton de Vaud a exprimé le souhait d'aller plus loin, en donnant un cadre formel et régulier aux travaux menés par l'ISSKA. Ainsi, une convention de collaboration a été signée début 2016. Ses objectifs sont d'assurer la conservation durable du patrimoine karstique et de favoriser l'échange d'informations entre GEODE (division Géologie, sols et déchets de la DGE), BIODIV (division Biodiversité et paysage) et l'ISSKA.

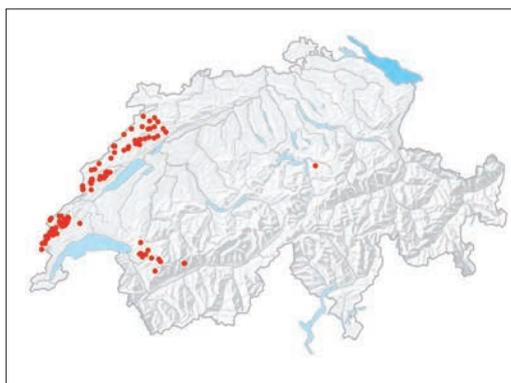


Plus de 23 sites karstiques pollués ont pu être identifiés lors des travaux exécutés dans le cadre de la convention. Cette doline, par exemple, a été repérée durant l'été 2016 alors qu'elle était en cours de comblement. Informée, la commune concernée est intervenue auprès du fauflif pour lui demander d'évacuer ses déchets.

Point important dans l'optique d'assurer aussi une bonne collaboration entre l'ISSKA et les spéléologues vaudois : ceux-ci sont également partie prenante dans cette démarche puisque le Groupe Patrimoine Vaud (GPV) de la Société suisse de spéléologie est co-signataire de la convention.

Sur le terrain, les résultats de cette première année de partenariat sont encourageants : investigations de 80 sites, identification de 23 nouveaux sites pollués, contrôle de plusieurs cavités précédemment assainies et découvertes paléontologiques et archéologiques prometteuses.

Pour le Département de la Sécurité et de l'Environnement vaudois, ce partenariat permet de gérer de manière efficace les différentes questions relatives au karst, tels que le suivi des sites pollués ou celui des découvertes d'intérêt scientifique faites sous terre. Après le canton de Neuchâtel, Vaud est donc le deuxième canton à s'engager dans une démarche conventionnée permettant la surveillance et la protection du patrimoine karstique. L'ISSKA espère que d'autres cantons sauront comprendre l'intérêt d'une telle démarche.



Carte indiquant la position des quelque 180 sites karstiques assainis par l'ISSKA depuis 2002. Il est plus certain que de très nombreux sites souterrains pollués existent encore dans certaines régions, en particulier en Suisse alémanique. Le rapprochement entre les services cantonaux en charge de l'environnement et l'ISSKA permettrait sans doute de mettre sur pied leur assainissement.



La convention signée avec le canton de Vaud doit aussi permettre de donner une meilleure visibilité aux valeurs patrimoniales spécifiques au karst et au milieu souterrain.

## Génie civil

Le suivi du percement de la galerie de sécurité du tunnel de Ligerz s'est achevé en cours d'année. Le système d'alarme mis en place par l'ISSKA, basé sur un modèle hydraulique en temps réel, a permis de mener à bien ce chantier en toute sécurité en regard des dangers de crue que représente le système karstique de Brunnmühle. Ce projet se poursuit par l'application de l'approche KarstALEA au futur tunnel de Twann.

L'approche KarstALEA a également été appliquée dans le cadre du projet de réhabilitation de la galerie hydroélectrique du Furcil (entrée des gorges de l'Areuse). Finalement, du côté de Jogne (NE), l'ISSKA assure le suivi du percement de la nouvelle galerie d'amenée d'eau qui alimente la ville de La Chaux-de-Fonds ; un chantier qui a débuté fin 2015 et qui se poursuivra jusqu'à mi-2017.



Suivi géologique du chantier de percement de la nouvelle galerie d'amenée d'eau de La Chaux-de-Fonds.

## Eoliennes

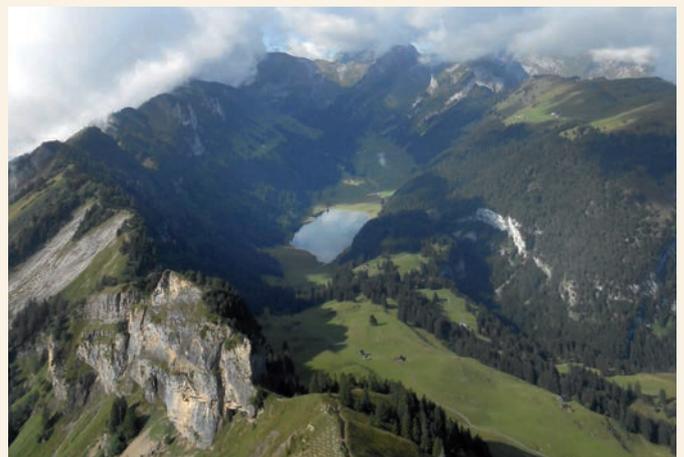
La publication de la brochure « éoliennes et karst » à fin 2015 a permis de sensibiliser les acteurs de ce milieu à la problématique du karst dans un double sens. D'une part, les projets éoliens peuvent avoir une incidence sur le milieu souterrain qu'il convient de prendre en compte dans les rapports d'impact sur l'environnement. Cet aspect a notamment beaucoup intéressé les organisations de protection de la nature. D'autre part, l'environnement karstique représente un danger potentiel sur les parcs éoliens, principalement en termes de stabilité. Cet aspect à quant à lui intéressé certains promoteurs de parcs éoliens qui se sont tournés vers l'ISSKA pour l'étude du contexte karstique de leurs projets. Ainsi, les outils développés par l'ISSKA ont pu être appliqués à trois sites éoliens en 2016 et ont permis d'intégrer les particularités des milieux karstiques dans la planification de ces projets.

## Ressources en eau

La couverture du territoire suisse à l'aide de l'approche KARSYS s'est poursuivie, notamment dans le canton du Valais. La reconnaissance par l'OFEV des résultats de cette approche s'est concrétisée par la publication des résultats sur la géo-plateforme fédérale pour les régions du Jura vaudois, du Jura bernois, des Préalpes fribourgeoises et des cantons de St-Gall et Appenzell ([map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch), thème OFEV/Eaux). A l'international, deux sites irlandais ont été complétés et finalisés (en collaboration avec le Geological Survey of Ireland et le Trinity College of Dublin). Un troisième site dans le sud de la France est en cours d'étude en collaboration avec le brgm.

## Carte indicative du karst

La carte indicative du karst a été réalisée dans le cadre de divers projets dans les cantons de Vaud, Neuchâtel, Berne, Jura et Soleure. Outre son utilité comme base de documentation du contexte karstique à l'amont de l'application des méthodes spécifiques de l'ISSKA (KARSYS, KarstALEA), elle a vu son utilité démontrée en tant qu'outil de gestion et de coordination pour les services cantonaux en charge de l'environnement. La représentation qu'elle donne des éléments de surface et des éléments souterrains propres au karst permet en effet d'identifier rapidement les enjeux patrimoniaux et hydrogéologiques d'une partie de territoire.



Le massif de l'Alpstein (SG/AI), l'une des régions couvertes par la méthode KARSYS.

## Grotte de Lascaux

Le projet d'étude sur les vermiculations menaçant la grotte de Lascaux s'est poursuivi en 2016. Dans la première partie de l'année, un travail assez intense de synthèse des données existantes nous a permis de définir les observations, expérimentations et modélisations à réaliser pendant la deuxième année du programme.

Ces travaux ont concrètement commencé pendant la seconde partie de 2016. Pour gérer les observations existantes, des outils ont été développés, en particulier en associant des SIG et des modèles 3D afin de pouvoir représenter les éléments observés sur les parois de la grotte. Les véritables résultats scientifiques arriveront début et courant 2017.

### Assainissements de sites karstiques



Comme chaque année, des civilistes nous ont prêté main forte pour réaliser des assainissements de gouffres.

Une série de dolines et de gouffres ont été nettoyés dans la région de l'Hongrin (VD) et les contacts se sont poursuivis avec les autorités pour organiser l'assainissement de gouffres dans les cantons de Neuchâtel (Val-de-Travers) et de Berne (différentes communes du Jura bernois).

### Ostéologie

De nombreux ossements ont été récoltés par les spéléologues tessinois dans des grottes du Monte Generoso, et identifiés à l'ISSKA. Parmi ces trouvailles, un extraordinaire bouquetin tardiglaciaire dont la datation a donné l'âge calibré de 20'000 cal BP, soit peu après le retrait des glaciers du Mendrisiotto. Le Monte Generoso étant resté un nunatak durant le dernier maximum glaciaire (LGM), le bouquetin aurait-il pu y survivre? Les recherches ostéologiques vont se poursuivre dans ce massif très intéressant, où ont également été trouvés des ossements d'ours brun pléistocènes.

Une expédition au Karhohlenschacht (massif du Hohgant, BE) a permis de récolter les squelettes complets d'un lynx et de plusieurs ours juvéniles. Le lynx s'est avéré de l'époque romaine, alors que les ours datent déjà du Néolithique. La grotte fait l'objet d'un travail de maturité d'une lycéenne neuchâteloise.

### Enseignement

L'année 2016 a été le cadre d'un large développement des activités d'enseignement et de vulgarisation de l'ISSKA. Un programme de conférences dans les écoles a été couronné de succès avec plus de 1'600 élèves touchés. Ce cycle de conférence a par ailleurs été accompagné de la réalisation de trois courts métrages didactiques présentant les particularités de l'environnement karstique (visible sur [www.isska.ch](http://www.isska.ch), rubrique enseignement). Ces activités de sensibilisation ont été également complétées par plus de 20 excursions à l'attention de groupes très divers.



Elèves de 9<sup>ème</sup> HarmoS d'un collège de Prilly lors d'une expérience sur l'absorption de l'eau dans les sols.

Dans le domaine de l'enseignement spécialisé, l'offre de cours de l'ISSKA s'est enrichie notamment avec un programme à l'attention de la Conférence universitaire de Suisse occidentale (CUSO). Des cours maintenant réguliers ont quant à eux été dispensés dans les universités de Besançon, Neuchâtel et Vienne. Finalement, l'ISSKA a été invité à présenter ses travaux à la conférence annuelle de la Geological Society of America à Denver (Colorado).

### Guides et brochures

Les travaux de l'année écoulée ont permis de réaliser un nouveau guide d'excursion hydrogéologique sur les gorges du Taubenloch (entre Péry et Bienne, sortie de presse début 2017) qui complète la collection déjà existante (Gorges de l'Areuse, La Chaux-de-Fonds, Le Locle, L'Orbe). L'année a également permis d'initier un futur guide dédié au Doubs. En plus de ces guides, l'ISSKA a aussi conçu une nouvelle brochure sur le thème des dolines, principalement à l'intention des acteurs du milieu agricole et de la protection de l'environnement. Cette brochure complète la collection déjà existante et est disponible en téléchargement libre sur le site de l'ISSKA ([www.isska.ch](http://www.isska.ch), rubrique enseignement).

## PUBLICATIONS

BIANCHI-DEMICHELI, F., TANTARDINI, L., OPPIZZI, N. & BLANT, M. (2016): Découverte d'un bouquetin (*Capra ibex*) et de deux ours bruns (*Ursus arctos*) pléistocènes dans des grottes du Monte Generoso. *Bollettino della Società Ticinese di scienze naturali* 104, in press.

BLANT, D. (2016): 2001-2015 : 15 ans d'activités du Groupe patrimoine NE, mais aussi 15 ans de dépollutions. - *Cavernes* 2016, 9-12.

BLANT, M. (2016): Un élan et un bison holocènes dans le Gouffre de la Combe de la Racine. *Cavernes* 2016, 17-20.

HÄUSELMANN, PH., MIHEVC, A., PRUNER, P., HORÁČEK, I., ČERMÁK, S., HERCMAN, H., SAHY, D., FIEBIG, M., ZUPAN HAJNA, N. & BOSÁK, P. (2015): Snežna jama (Slovenia): Interdisciplinary dating of cave sediments and implication for landscape evolution. - *Geomorphology*, 247, 10-24.

HÄUSELMANN, PH. (2016): Das Karstsystem Siebenhengste-Hohgant-Schrattenfluh: Versuch einer Synthese. - *Stalactite* 66 (1), 28-41.

HÄUSELMANN, PH. & SIEGENTHALER, R. (2015): Erde von unten - Karsteinblicke. - *Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Bern*, NF 72, 99-109.

JEANNIN, P.-Y. (2016): Main karst and caves of Switzerland. - *Boletín Geológico y Mineros*, 127(1), 45-56.

JEANNIN, P.-Y., MALARD, A. & WEBER, E. (2016): Evaluation des problèmes liés au karst lors du percement de la galerie de sécurité du tunnel de Gléresse (BE, Suisse). - *Stalactite* 66(2), 18-26.

MALARD, A., SINREICH, M., JEANNIN, P.-Y. (2016): A novel approach for estimating karst groundwater recharge in mountainous regions and its application in Switzerland. - *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10765.

MIHEVC, A., BAVEC, M., HÄUSELMANN, PH. & FIEBIG, M. (2015): Dating of the Udin Borst conglomerate terrace and implication for tectonic uplift in the northwestern part of the Ljubljana Basin (Slovenia). - *Acta Carsologica* 44/(2), 169-176.

RICKERL, D. (2016): Die Anwendung der Methode KARSYS im Kanton St. Gallen. - *Stalactite* 66(2), 14-17.

WENGER, R. (2016): Les dolines, un élément du paysage à mieux protéger. - *La Forêt* 5/2016, 16-17.

Liste complète:



## COLLABORATEURS

### Collaborateurs réguliers

Denis Blant	Science, patrimoine (50%)
Michel Blant	Science, paléontologie (20%)
Constanze Bonardo	Secrétariat (65%)
Urs Eichenberger	Science, enseignement (75%)
Philipp Häuselmann	Science (50%)
Pierre-Yves Jeannin	Administration, science (90%)
Arnaud Malard	Science, doctorant (100%)
Georges Naman	Informatique (35%)
Demian Rickerl	Science (70%)
Jonathan Vouillamoz	Science (80%)
Eric Weber	Science (80%)
Rémy Wenger	Patrimoine, enseignement (50%)



### Stagiaires / civilistes

Julien Debache	civiliste
Guillaume Frund	civiliste
Steve Imfeld	civiliste
Ted McCormack	stagiaire
Lara Pietra	stagiaire
Mathieu Wenger	civiliste

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. Il s'agit ici aussi d'objectifs de développement durables (voir pages 4 à 9). 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.

## MEDIAS

**Presse:** L'Impartial • L'Express / L'Impartial • A+ • Terre & Nature • Revue Educateur • Revue Environnement • Revue La Forêt • GEO • GeoPanorama • Randonner.ch • Focus Nature suisse

**TV:** RTS Un

## RESEAUX SOCIAUX

### Suivez l'ISSKA sur Twitter!

Début 2017, l'ISSKA s'est doté d'un compte Twitter (@Isska\_Siska). Parc ce biais, l'ISSKA communique la parution d'ouvrages, le calendrier des excursions, les cours et conférences à venir et autres actualités.

Pour les non abonnés à Twitter, les tweets sont aussi affichés sur le site Internet de l'ISSKA.

N'hésitez pas à nous suivre !



## COMPTES & BILAN

COMPTE DE RESULTAT DE L'EXERCICE	2016	2015
	CHF	CHF
Mandats	706 682.99	953 841.09
Subventions	195 000.00	85 065.00
Soutien de la Loterie Romande	50 000.00	21 500.00
Ventes	5 600.03	3 712.76
Dons	20 560.00	12 180.00
Autres produits	32 696.29	19 263.27
TVA	(1 321.54)	(1 157.36)
<b>Total des produits</b>	<b>1 009 217.77</b>	<b>1 094 404.76</b>
Matériel durable	(6 521.83)	(2 396.53)
Frais d'impression	(1 250.00)	(5 626.99)
Consommables	(61 668.07)	(50 443.20)
Frais de déplacement	(31 917.65)	(60 050.72)
Sous-traitance	(129 145.01)	(122 136.16)
Autres frais généraux	(20 717.50)	(19 970.56)
<b>Marge brute I</b>	<b>757 997.71</b>	<b>833 780.60</b>
Frais de personnel	(683 191.31)	(746 215.49)
<b>Marge brute II</b>	<b>74 806.40</b>	<b>87 565.11</b>
Frais de locaux	(34 260.30)	(48 175.05)
Assurances commerciales	(8 450.00)	(8 320.70)
<b>Résultat d'exploitation avant intérêts, charges et produits hors exploitation</b>	<b>32 096.10</b>	<b>31 069.36</b>
Produits financiers	818.95	847.55
Charges financières	(1 875.80)	(2 180.60)
Variation de valeur sur titres	(1 042.78)	308.00
Attribution à la provision pour Prévoyance.ne	0.00	(20 000.00)
<b>Résultat de l'exercice avant attribution au fonds de réserve</b>	<b>29 996.47</b>	<b>10 044.31</b>
Attribution au fonds de réserve	(20 000.00)	(10 000.00)
<b>BENEFICE DE L'EXERCICE</b>	<b>9 996.47</b>	<b>44.31</b>

BILAN AU 31 DECEMBRE	2016	2015
	CHF	CHF
<b>A C T I F</b>		
<b>Actif circulant</b>		
Trésorerie et actifs cotés en bourse détenus à ct		
• liquidités	346 252.74	222 875.91
• titres cotés à court terme	21 996.06	23 038.84
Créances résultant de ventes de biens et de prestations de services		
• envers des tiers	87 529.12	153 009.70
Autres créances à court terme		
• envers des tiers	128.65	134.50
Prestations de services non facturées		
• travaux en cours	49 800.00	105 708.00
Actifs de régularisation	15 955.15	5 379.15
	<b>521 661.72</b>	<b>510 146.10</b>

BILAN AU 31 DECEMBRE	2016	2015
	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		
• envers des tiers	17 489.40	27 129.55
Dettes à court terme portant intérêt		
• envers des banques (amort. ATF)	10 000.00	10 000.00
Autres dettes à court terme		
• envers des tiers	20 756.88	26 326.55
Passifs de régularisation	52 350.00	45 621.03
	<b>100 596.28</b>	<b>109 077.13</b>
<b>Capitaux étrangers à long terme</b>		
Dettes à long terme portant intérêt		
• envers des banques (ATF)	60 000.00	70 000.00
Provisions	43 200.00	43 200.00
	<b>103 200.00</b>	<b>113 200.00</b>
<b>Capitaux propres</b>		
Capital de dotation	240 000.00	240 000.00
Fonds de réserves	120 000.00	100 000.00
Excédent de dépenses au bilan		
• excédent de dépenses reporté	(52 131.03)	(52 175.34)
• excédent de recettes	9 996.47	44.31
	<b>317 865.44</b>	<b>287 868.97</b>
<b>TOTAL DU PASSIF</b>	<b>521 661.72</b>	<b>510 146.10</b>



### 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 la fondation ISSKA, Institut Suisse de Spéléologie et Karstologie, pour l'exercice arrêté au 31 décembre 2016. Le contrôle restreint des indications de l'exercice précédent a été effectué par un autre organe de révision. Dans son rapport du 25 avril 2016, celui-ci a exprimé une réserve pour la provision de la caisse de pension qui était insuffisante.

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 16 mai 2017

FIDUCONSULT ACTA SA

*L. Kélemen*

*S. Mathez*

Laszlo Kélemen  
Expert-Réviseur agréé  
Réviseur responsable

Sonia Mathez  
Expert-Réviseur agréée

NB: Pour une comparaison des comptes et bilan de l'année 2015, merci de se référer à la version disponible sur notre site internet ([www.isska.ch](http://www.isska.ch) -> portrait -> rapports annuels). Les comptes et bilan publiés dans la version imprimée de notre rapport annuel de l'année passée correspondent à une version intermédiaire et comportent des erreurs, ce dont nous nous excusons.

# 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'archéologie et la paléontologie 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
- Sécurité
- Exposition SPELAION



**INSTITUT SUISSE DE SPÉLÉOLOGIE  
ET DE KARSTOLOGIE**

Case postale 775  
CH-2301 La Chaux-de-Fonds  
Tél. +41 (0)32 913 35 33  
Fax +41 (0)32 913 35 55  
info@isska.ch

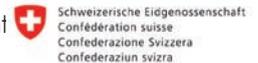
[www.isska.ch](http://www.isska.ch)

## FONDATEURS

- Société suisse de spéléologie



- Office fédéral de l'Environnement



- Académie suisse des sciences naturelles



- Canton de Neuchâtel



- Canton du Jura



- Ville de La Chaux-de-Fonds



- Sublime, société organisatrice du XII<sup>e</sup> Congrès international de spéléologie



## AVEC LE SOUTIEN DE



## MEMBRES DU CONSEIL DE FONDATION

Didier Cailhol (SC-Jura)  
Jean-Pierre Clément (Canton de Berne)  
Patrick Deriaz  
Kurt Graf (Académie suisse des Sciences naturelles)  
Jacques-André Humair (Ville de La Chaux-de-Fonds)  
Jacques-André Jacquenoud (Société Suisse de spéléologie)  
Werner Janz  
Jean-Claude Lalou (Sublime + Président du Conseil)  
Ulrich Jörin (AG-Höllochforschung)  
Pierre Perrochet (Canton de Neuchâtel)  
Jean-Louis Regez (SGH-Basel)  
Edouard Roth (Canton du Jura)  
Michael Sinreich (Office fédéral de l'env. - OFEV)  
Benoit Sottaz (SC Préalpes fribourgeoises)  
Maxime de Gian Pietro (Commission de spéléologie scientifique SSS & SCNAT)  
Mirjam Widmer (AGS-Regensdorf)  
Andres Wildberger