



SOCIÉTÉ SUISSE DE SPÉLÉOLOGIE  
SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR HÖHLENFORSCHUNG  
SOCIETÀ SVIZZERA DI SPELEOLOGIA

sc|nat 

Swiss Academy of Sciences  
Akademie der Naturwissenschaften  
Accademia di scienze naturali  
Académie des sciences naturelles

COMMISSION DE SPÉLÉOLOGIE SCIENTIFIQUE  
KOMMISSION FÜR WISSENSCHAFTLICHE SPELÄOLOGIE  
COMMISSIONE PER LA SPELEOLOGIA SCIENTIFICA

## INSTRUCTIONS PRATIQUES POUR L'ÉVALUATION DE PROJETS EN TERRAIN KARSTIQUE

VERSION 1.0

23 octobre 2010

## **IMPRESSUM**

### **Editeur**

Société Suisse de Spéléologie SSS/SGH

Case postale 1332  
2301 La Chaux-de-Fonds

Tél. +41 (0)32 913 35 33

Fax +41 (0)32 913 35 55

CCP 10-17182-9

### **Auteurs**

Silvia Schmassmann, géologue

Oliver Hitz, ingénieur en génie hydraulique, dr sc.

### **Groupe de suivi**

Miguel Borreguero, hydrogéologue

Roman Hapka, environnementaliste

Philipp Häuselmann, géologue, dr sc.

Pierre-Yves Jeannin, hydrogéologue, dr sc.

Hans Stünzi, chimiste, dr sc.

Jean-Pierre Tripet, hydrogéologue, dr sc.

Avec les précieuses contributions de spéléologues  
et responsables du patrimoine spéléologique :

Patrick Deriaz

Richard Graf

Erich Plattner

Mirjam Widmer

### **Traduction**

Miguel Borreguero

Pierre-Yves Jeannin, dr sc.

Jean-Pierre Tripet, dr sc.

### **Téléchargement du fichier PDF**

Ces instructions pratiques peuvent être téléchargées à  
partir du site de la SSS/SGH [www.speleo.ch](http://www.speleo.ch) .

Cette publication est également disponible en alle-  
mand.

© SSS/SGH 2010

## Table des Matières

<b>Résumé</b>	<b>4</b>
<b>1. Contexte</b>	<b>6</b>
<b>2. Objectif des instructions pratiques</b>	<b>6</b>
<b>3. Objet et principe</b>	<b>6</b>
<b>4. Conseils de spécialistes</b>	<b>7</b>
<b>5. Contenu et organisation de l'évaluation de projets dans le karst</b>	<b>8</b>
I. Localisation et utilisation actuelle	8
II. Description du projet	9
III. Matrice d'identification des impacts – Définition des éléments-clé pour l'environnement	9
IV. Définition du périmètre à prendre en considération	10
V. Description et évaluation de l'état actuel	12
VI. Définition des paramètres déterminants	13
VII. Définition des objectifs de protection : exigences et objectifs	14
VIII. Impacts pendant les différentes phases du projet	14
IX. Evaluation des impacts et identification des points critiques	15
X. Optimisation du projet et mesures	15
XI. Impact résiduel et évaluation finale	16
XII. Conclusion	16
<b>Annexe A: Paramètres pour la description de l'état actuel, la définition des objectifs de protection et l'évaluation de l'impact</b>	<b>17</b>
1) Air et climat	17
2) Ebranlements	19
3) Eaux : Eau souterraine, drainage, évacuation des eaux	19
4) Sol	23
5) protection contre les catastrophes	24
6) Flore, faune, habitats	25
7) paysage et aspect des sites	26
8) Sites archéologiques, géotopes et importance pour la recherche scientifique	27
9) Autres domaines environnementaux	29
<b>Annexe B : check-list pour le prélèvement d'échantillons à but scientifique dans des grottes</b>	
Contexte	30
1) La banque de données d'échantillons de la Commission de spéléologie scientifique	31
2) Check-list des principales questions relatives au prélèvement d'échantillons	32
<b>Annexe C : Bibliographie et législation</b>	<b>35</b>
<b>Annexe D: Adresses utiles</b>	<b>38</b>

## RESUME

Bien que les régions karstiques constituent une portion importante du territoire suisse, leurs spécificités sont souvent insuffisamment prises en compte lors de la planification et l'exécution de projets de construction. Avec ces instructions pratiques, la Société Suisse de Spéléologie SSS/SGH met à disposition des autorités, des porteurs de projets et de tous les intéressés les bases nécessaires ainsi que des critères permettant de prendre en compte les caractéristiques du karst et des grottes de manière pertinente. Ces instructions pratiques devraient permettre d'évaluer les effets sur le karst de constructions ou d'aménagements et de prendre des mesures ciblées d'optimisation. Dans la mesure où des connaissances minimales du karst et du milieu souterrain sont nécessaires pour l'application de ces instructions pratiques, un spécialiste de ce domaine doit être consulté.

La procédure d'évaluation proposée est calquée sur la structure (simplifiée) d'une étude d'impact sur l'environnement. Elle s'adapte cependant facilement à de petits projets. Après la prise de connaissance du projet et du lieu, il faut décider quels sont les domaines environnementaux (p.ex. eaux souterraines, faune, paysage...) qui doivent être approfondis. Pour chacun des domaines, le périmètre à prendre en considération doit être délimité. L'état actuel du milieu naturel (état avant projet) au sein du périmètre ainsi que sa sensibilité doivent être décrits et si possible quantifiés. Des paramètres doivent ensuite être trouvés d'une part pour définir des objectifs de protection, et d'autre part, pour établir une liste correcte des impacts envisagés. La confrontation des objectifs de protection et des impacts envisagés doit alors permettre de reconnaître les points problématiques. Ceux-ci peuvent être résolus par des adaptations du projet ou des mesures de protection, voire des mesures de compensation. Le projet peut ainsi être optimisé pour tenir compte des aspects karst et grottes. Les impacts résiduels, après ces adaptations, permettent d'évaluer la compatibilité environnementale du projet par rapport au karst et aux grottes.

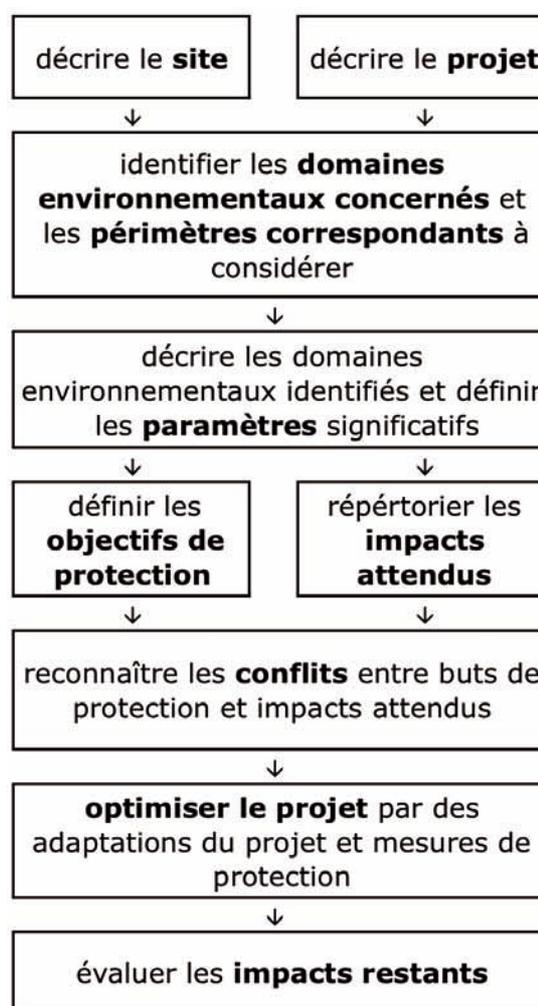


Figure 1 : Déroulement d'une étude d'impact avec évaluation et optimisation du projet.

L'annexe A présente les domaines environnementaux importants pour l'évaluation de projets en milieu karstique et leurs spécificités pour la protection du karst et des grottes. Une liste de paramètres qui doivent permettre de décrire l'état actuel, les objectifs de protection et les im-

pacts est associée à chaque domaine. Dans cette liste est intégré un choix d'importants objectifs de protection.

Dans l'annexe B, une check-list résume les aspects à prendre en compte lors d'un échantillonnage scientifique en grotte. Elle a pour but d'une part de garantir que tous les domaines environnementaux pertinents soient pris en compte et d'autre part, d'offrir un outil facile à utiliser par les scientifiques. Ainsi les effets négatifs de tels prélèvements (en particulier de concrétions) devraient pouvoir être minimisés, de manière analogue à ce qui est présenté dans ces instructions pratiques. De même l'utilité scientifique des échantillons prélevés devrait être maximisée. Pour tendre vers une utilisation durable et aussi complète que possible des échantillons prélevés, la commission scientifique de la SSS/SGH a créé une base de données qui est également brièvement présentée.

## 1. CONTEXTE

Les régions karstiques couvrent 20% de la surface de la Suisse ; de nombreux ouvrages ont par conséquent déjà été construits dans ces régions. Cependant, on observe par exemple une explosion du nombre de projets de petites centrales hydroélectriques et d'éoliennes, en raison de la rétribution d'injection couvrant les coûts de production d'énergie renouvelable. Parallèlement les besoins en eaux augmentent, donc les sources et les eaux souterraines sont particulièrement sollicitées, alors que les sondes géothermiques verticales (pompes à chaleur) se développent à une vitesse considérable. Ces diverses utilisations du sous-sol sont en concurrence et, en milieu karstique, les spécificités du terrain doivent être prises en compte de manière adéquate, faute de quoi des dommages importants (du milieu naturel comme des ouvrages) vont apparaître. Les présentes instructions pratiques montrent quels aspects spécifiques les projets situés en région karstique doivent prendre en considération. Il fournit aussi des critères fondés pour l'évaluation de projets qui pourraient influencer le karst et les grottes.

## 2. OBJECTIF DES INSTRUCTIONS PRATIQUES

Au travers de ces instructions pratiques, la Société Suisse de spéléologie, SSS/SGH aimerait mettre un instrument à disposition des autorités responsables des autorisations de projets, des promoteurs de projets et de tous les intéressés. Ces instructions pratiques doivent offrir les bases et critères nécessaires à l'évaluation de l'impact de projets sur le karst et les grottes afin de pouvoir optimiser de manière ciblée un ouvrage prévu. En outre, ces instructions pratiques seront appliquées par la SSS/SGH dans l'usage de son droit de recours en tant qu'organisation de protection de la nature.

La SSS/SGH espère ainsi que les particularités du karst seront mieux prises en compte lors de la réalisation de projets. Ces instructions pratiques ont donc pour but de rendre les connaissances spécifiques du karst plus accessibles, pensant qu'une meilleure connaissance permettra une meilleure gestion de cette partie peu visible de notre paysage.

## 3. OBJET ET PRINCIPE

Ces instructions pratiques sont construites sur le modèle (simplifié) d'une étude d'impact sur

### **Karst et grottes...**

#### *Karst*

Ce mot désigne l'ensemble des paysages superficiels et souterrains formés par la dissolution des roches (surtout le calcaire).

#### *Eaux souterraines dans le karst*

Une caractéristique essentielle des régions karstiques est l'absence d'écoulements superficiels. L'eau s'infiltré très directement dans le sous-sol par des pertes, dolines, lapiés ou fissures. Contrairement aux eaux souterraines des aquifères poreux (sables, graviers) les eaux circulent dans des conduits karstiques qui peuvent faire plusieurs mètres de diamètre. Le temps de séjour souterrain peut alors être très réduit, limitant le pouvoir d'épuration des eaux. Les eaux karstiques sont donc vulnérables aux pollutions.

#### *Grottes et réseaux spéléologiques*

Une grotte est une cavité naturelle pénétrable à l'homme. On compte plus de 9000 grottes connues et documentées en Suisse. Les plus petites ne font que quelques mètres de long, alors que le Hölloch, réseau le plus long de Suisse (et le deuxième d'Europe), totalise presque 200 km de galeries.

l'environnement (EIE). Elles doivent permettre d'évaluer des petits projets comme des plus grands. En quelques heures de travail une personne expérimentée dans le domaine et connaissant la région devrait pouvoir évaluer les impacts d'un petit projet sur le karst et les grottes, et de l'optimiser pour en diminuer l'impact. Pour les projets plus importants une personne expérimentée pourra dans le même temps estimer si des conflits significatifs existeront entre les objectifs de protection et les impacts potentiels du projet, et définir les études et analyses complémentaires nécessaires à une analyse plus fine. C'est dans le cadre de ces études complémentaires que les mesures nécessaires et les impacts résiduels seront décrits plus en détail. S'agissant de projets plus gros, ces études pourront être intégrées sans problème dans l'EIE en s'aidant des présentes instructions pratiques dans la mesure où la structure de base est la même.

Le déroulement proposé ainsi que de nombreux éléments de ces instructions pratiques sont basés sur les publications de l'OFEV, en particulier le « Manuel EIE » et le document « Protection de la nature et du paysage et protection du patrimoine (N/P+P) lors de l'élaboration de rapports d'impact ». Les instructions pratiques se concentrent sur les éléments particuliers (souvent invisibles et pourtant uniques) des paysages karstiques afin qu'ils bénéficient de la protection qui leur est due. Ainsi ce sont principalement les parties spécifiques au karst et aux grottes des domaines environnementaux qui sont considérées, les autres aspects relevant des études classiques.

#### **4. CONSEILS DE SPECIALISTES**

Dans le choix de spécialistes chargé de l'évaluation une grande prudence est requise. La première raison est que certaines données, parfois détaillées, ne sont pas disponibles facilement (plans de grottes, coordonnées, descriptions des archives des clubs de spéléologie). La seconde raison est que des connaissances particulières du milieu karstique sont indispensables pour les évaluations (par exemple l'évaluation de la valeur scientifique et patrimoniale d'une grotte, de sa sensibilité ou l'estimation des impacts sur les eaux karstiques ou les concrétions d'une grotte). De telles connaissances ne sont pas disponibles dans n'importe quel bureau d'environnement ou de géologie. Si besoin, la SSS/SGH transmet volontiers une liste de spécialistes reconnus.

De plus, il est souvent recommandé d'inclure les spéléologues actifs dans la région du projet dès le début du processus. Ils peuvent fournir des informations très utiles, qui peuvent faciliter le travail par la suite.

Dans certains cas, de modestes modifications de projet (p.ex. un déplacement de l'ouvrage de quelques mètres) ont un effet important sur l'impact qui peut d'ailleurs aussi être très souhaitable pour la réalisation technique du projet (traverser une roche saine avec un tunnelier est plus simple que de traverser une grotte...). C'est pourquoi il est généralement intéressant d'inclure des spécialistes du karst tôt dans l'élaboration du projet (dans le cas de projet avec EIE obligatoire, au plus tard lors de la définition du cahier des charges et des limites du système).

## 5. CONTENU ET ORGANISATION DE L'ÉVALUATION DE PROJETS DANS LE KARST

Les sous-chapitres qui suivent décrivent point par point les étapes de l'évaluation et de l'optimisation de projets en milieu karstique.

Comme point de départ il convient de décrire de manière ciblée et adéquate la situation du projet (sous-chapitre I) et le projet lui-même avec ses différentes étapes (sous-chapitre II). C'est sur cette base et grâce à une matrice d'identification des impacts que peuvent la plupart du temps être identifiés les domaines environnementaux à prendre en compte, les phases significatives du projet et chacune de ses étapes (sous-chapitre III, tableau 1). Ceci permet de réduire les études aux éléments nécessaires. Ensuite, une description adéquate de chacun des domaines reconnus est nécessaire (sous-chapitre V) au sein d'un périmètre à ajuster pour chaque domaine (sous-chapitre IV). On décrit alors les impacts envisagés pour chaque domaine environnemental (sous-chapitre VIII). Ceci se base sur les paramètres définis pour le projet concret (sous-chapitre VI). Ces mêmes paramètres servent également à définir les objectifs de protection (sous-chapitre VII). La comparaison des objectifs de protection et des impacts envisagés permet d'identifier les points critiques (sous-chapitre IX). Des adaptations du projet et/ou des mesures de protection particulières peuvent alors permettre d'optimiser le projet et ainsi de réduire l'impact résiduel pour la nature et l'environnement (sous-chapitre X). Cet impact peut ensuite être évalué et décrit sur la base des paramètres définis au point VI (sous-chapitre XI).

Les sous-chapitres I, II et XII concernent le projet dans sa totalité alors que les chapitres III à XI se rapportent à des domaines environnementaux spécifiques qui doivent donc être traités individuellement. La figure 2 donne un aperçu complet du déroulement de l'évaluation. Le tableau 2 (page 11) permet de guider concrètement le travail tout au long du processus d'évaluation.

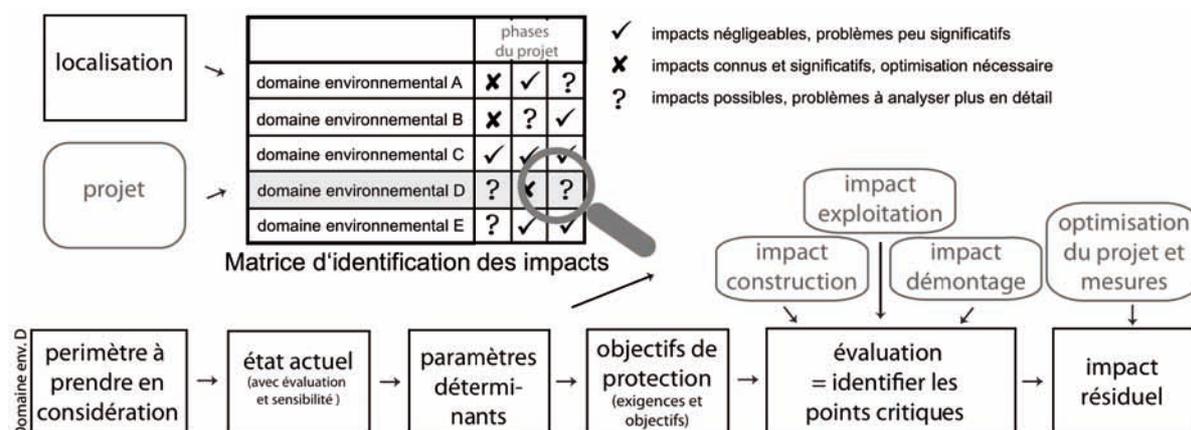


Figure 2: Les étapes d'une étude d'évaluation et d'optimisation de projet dans le karst.

### I. LOCALISATION ET UTILISATION ACTUELLE

Comme point de départ pour l'évaluation, l'environnement dans lequel le projet devrait être implanté, ainsi que l'usage actuel de cet endroit sont décrits de manière aussi complète que possible. Les installations, constructions et aménagements existants sont énumérés et dé-

crits, ainsi que les zones protégées, réserves ou géotopes. Des données sur les zones d'affectation touchées par le projet permettent de situer celui-ci dans son contexte du point de vue de la gestion du territoire. Les bases existantes sur la géologie et l'hydrologie du territoire concerné sont également à intégrer.

## **II. DESCRIPTION DU PROJET**

Cette description doit couvrir tous les aspects significatifs de l'environnement et être aussi complète que possible (but, fonction, lieu, surfaces concernées, aménagements, travaux et activités prévus, accès, flux de matériaux et d'énergie, entretien, activités découlant de l'ouvrage, mesures de protection de l'environnement prévues, description des phases de construction, des installations de chantier, etc.). La description doit contenir tous les éléments susceptibles d'avoir des effets sur le sous-sol. Une attention particulière doit être portée aux flux de matériaux et d'énergie (produits, dépôts, gestion des eaux et égouts, modifications du terrain et risques d'érosion, etc.).

Les effets sur l'environnement des trois phases d'un ouvrage – construction, exploitation, démontage – doivent être traités séparément. Il faut en particulier garder à l'esprit qu'en raison de communications rapides avec le sous-sol de petits incidents peuvent avoir de grandes conséquences (p.ex. une simple fuite d'huile d'une machine ou un lessivage de sédiments suite à un décapage des sols en surface). Il est par conséquent important de planifier soigneusement la surveillance du chantier avec un cahier des charges environnemental et un suivi pendant la réalisation.

Pour atteindre une pesée des intérêts équilibrée une description synthétique de l'utilité de l'ouvrage est vivement conseillée. Le maître d'ouvrage peut y faire figurer sa vision des choses et ne laisse donc pas le champ libre uniquement à l'administration ou aux potentiels opposants au projet.

## **III. MATRICE D'IDENTIFICATION DES IMPACTS – DEFINITION DES ELEMENTS CLES POUR L'ENVIRONNEMENT**

La prochaine étape consiste, à l'aide d'une matrice d'identification des impacts, à évaluer grossièrement tous les domaines environnementaux (p. ex. eaux, paysage) pour sélectionner les plus significatifs. Le tableau est formé des domaines environnementaux en lignes et des étapes du projet en colonnes, ce qui donne une matrice qui permet une évaluation sommaire. Les domaines environnementaux sont décrits en détail dans l'annexe A. La matrice d'identification des impacts permet de distinguer les types de problèmes suivants (voir aussi tableau 1) :

- a. Problèmes peu significatifs (impacts négligeables) ;
- b. Problèmes significatifs mais déjà bien connus ; ils peuvent être évalués avec les données existantes ; une optimisation du projet doit néanmoins être effectuée ;
- c. Problèmes à analyser plus en détail (impacts possibles ou même sûrs, mais données insuffisantes).

C'est sur la base de ces informations que les investigations pourront être limitées aux domaines environnementaux et aux phases de projet nécessaires. Les autres aspects ne seront donc pas pris en compte dans les étapes ultérieures (IV-IX). Dans le cas de projets faisant l'objet d'une étude d'impact obligatoire ces informations permettront de définir le cahier des charges de la partie principale de l'étude.

Tableau 1 : Exemple de matrice d'identification des impacts pour l'identification des aspects environnementaux significatifs : Domaines environnementaux / phases du projet.

DOMAINES ENVIRONNEMENTAUX	PHASE DU PROJET		
	phase de construction	phase d'exploitation	phase de démontage
1 Air et climat	X	?	?
2 Ebranlements	X	✓	?
3 Eaux	X	X	?
4 Sol	?	✓	✓
5 Protection contre les catastrophes	X	?	X
6 Flore, faune, habitats	?	?	✓
7 Paysage et aspect des sites	?	?	?
8 Sites archéologiques, géotopes et importance pour la science	X	?	✓
9 Autres domaines environnementaux: protection de l'air (en surface), lutte contre le bruit, rayonnements non ionisés, eaux de surface, fertilité des sols, sites contaminés, déchets et substances à même de nuire à l'environnement, organismes à même de nuire à l'environnement, forêts, flore, faune et habitats en surface, protection du paysage et des sites naturels et culturels en surface, ...	✓	✓	✓

**Legende**

- ✓ problèmes peu significatifs (impacts négligeables)
- X problèmes significatifs mais déjà bien connus ; ils peuvent être évalués avec les données existantes ; une optimisation du projet doit néanmoins être effectuée
- ? problèmes à analyser plus en détail (impacts possibles ou même sûrs, mais données insuffisantes)

**IV. DEFINITION DU PERIMETRE A PRENDRE EN CONSIDERATION**

Après l'identification des aspects déterminants à étudier, l'objectif des analyses passe du projet dans sa totalité aux différents domaines environnementaux tels qu'ils sont prévus dans le manuel EIE de l'OFEV (voir aussi tableaux 1 & 2, pages 10 & 11).

Tableau 2 : Tableau de synthèse présentant les étapes III à XII de l'évaluation d'un projet, structurées selon les domaines environnementaux.

En gris, on a donné un exemple d'évaluation du domaine environnemental ébranlements, illustré par le cas de l'autoroute A16 traversant la grotte de Milandre, JU (un géotope d'importance nationale avec des galeries richement concrétionnées). Les autres domaines environnementaux sont à traiter de manière analogue.

ÉTAPES D'ÉVALUATION DOMAINES ENVIRONNEMENTAUX	perimètre à considérer	état actuel avec impacts existants et sensibilité	paramètres	objectifs de protection: exigences (E) et objectifs (O)	impacts pendant la phase de construction	impacts pendant la phase d'exploitation	impacts pendant la phase de démontage	points critiques	mesures, adaptations du projet	impact résiduel	conclusion
1 Air et climat											●
2 Ebranlements	<p>* Zone de 400 m autour de la grotte, à max. 500 m de l'autoroute.</p> 	<p>* Pas d'ébranlements naturels; * galerie très sensible aux ébranlements car stalactites fragiles situées directement sous le portail du tunnel; * peu de concrétions cassées.</p>	<p>Ebranlements: * vitesse; * accélération; * fréquence.  Nombre de concrétions cassées.</p>	<p>(E) Vitesse, accélération et fréquence des ébranlements admis à définir en fonction de tirs d'essais (risque de dégât significatif = max. 1%); (E) N'engendrer aucune augmentation visible du nombre de concrétions cassées; (E) Monitoring ces concrétions; (E) Mise en service d'une alarme automatique (mesures d'ébranlements). (O) Aucun dégât aux concrétions.</p>	<p>Des concrétions (notamment stalactites) peuvent rompre en fonction de la méthode d'excavation, en particulier des charges d'explosifs.</p>	<p>L'autoroute en phase d'exploitation n'engendra pas d'ébranlements pouvant créer des dommages.</p>	<p>Pas prévu</p>	<p>Les stalactites d'un géotope d'importance nationale sont fortement menacées par la construction de la route nationale.</p>	<p>* Observation des stalactites et estimation de leur résistance; * Mesure par tirs d'essais de l'atténuation du terrain; * Choix de la méthode d'excavation et des charges maximales d'explosifs ainsi que des vitesses, accélérations et fréquences d'ébranlement admises en fonction des tests; * Monitoring des ébranlements du chantier (sur le chantier et dans la grotte) et alarme afin de pouvoir adapter la méthode si nécessaire.</p>	<p>* Dégâts légers liés aux allées et venues des spéléologues pour observer les zones sensibles; * Dégâts légers liés aux ébranlements pas totalement exclus.</p>	●
3 Eaux											●
4 Sol											○
5 Protection contre les catastrophes											○
6 Flore, faune, habitats											○
7 Paysage et aspect des sites											○
8 Sites archéologiques, géotopes et importance pour la science											○
9 Autres domaines environnementaux: protection de l'air (en surface), lutte contre le bruit, rayonnements non ionisés, eaux de surface, fertilité des sols, sites contaminés, déchets et substances à même de nuire à l'environnement, organismes à même de nuire à l'environnement, forêts, flore, faune et habitats en surface, protection du paysage et des sites naturels et culturels en surface, ...											○

● non problématique    ● impact faible à moyen ou à limiter par des mesures de protection adéquates    ● critique (exigences non respectées ou mesures préventives insuffisantes)

Une fois l'ouvrage bien connu et bien décrit, les limites du système environnemental à considérer doivent être définies. Elles peuvent varier d'un domaine environnemental à l'autre et doivent être considérées indépendamment les unes des autres (p.ex. une galerie concrétionnée pour les risques d'ébranlements, mais tout le système hydrogéologique pour les risques de pollution des eaux). Les étapes suivantes se rapportent alors uniquement aux périmètres définis pour chaque domaine environnemental ; cette étape est donc très importante dans l'ensemble de la démarche.

En milieu karstique le lien avec le sous-sol est généralement très direct, c'est pourquoi la surface du sol ne représente souvent pas une limite significative du système. De plus, les conditions dans le karst changent vite, tant dans l'espace que dans le temps. Par exemple, on y trouve de grands réseaux de conduits connexes au sein d'une roche peu poreuse. En basses eaux la nappe karstique se trouve au niveau de base régional alors qu'en hautes eaux, l'eau peut monter de plusieurs centaines de mètres en noyant des galeries sèches en basses eaux. Il est par conséquent très important que les limites du système ne soient pas trop petites et que l'on examine la question selon différentes échelles. Il faut en particulier rappeler que les limites des bassins d'alimentation des systèmes karstiques ne correspondent pas aux limites topographiques des bassins versants : les précipitations d'un versant d'une montagne peuvent alimenter une source située sur l'autre versant, voire traverser une vallée. C'est pourquoi le périmètre doit être large, en particulier pour les problématiques en relation avec les eaux souterraines. Il ne faut pas oublier non plus que les limites de bassins karstiques peuvent varier selon les conditions hydrologiques. Il est donc souvent nécessaire de disposer de données sur des périodes suffisamment longues, couvrant une gamme suffisante de situations extrêmes (crues, étiages...).

### **V. DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ETAT ACTUEL**

Afin d'évaluer l'effet d'un ouvrage sur l'environnement, il convient de connaître de manière suffisante cet environnement et en particulier son état avant la construction de l'ouvrage. Une description de l'état actuel, incluant tous les impacts déjà existants est donc requise, qu'il faut compléter par une évaluation.

Si on les compare aux écosystèmes de surface, les grottes sont des biotopes très pauvres en nutriments et très stables (surtout au point de vue température et humidité). Les conditions sont donc très fortement influencées par l'écoulement des eaux (quantité, température, flux de nutriments, sédiments, etc.) et par le climat de la grotte (ventilation, variations minimales de température et d'humidité). Parfois de petites variations du régime hydrique (sédiments et nutriments inclus) et du climat ont des effets conséquents sur les grottes et le karst. Comme de tels changements peuvent intervenir sur de courtes périodes de temps (crue, inversion de courant d'air, etc.) c'est la dynamique du système qu'il faut considérer. Ainsi pour évaluer l'effet de certains projets il est incontournable de mesurer les paramètres hydrologiques et climatiques de la grotte afin d'en tirer les flux de masse ou d'énergie. Dans certains cas, il est nécessaire d'évaluer les flux de masse et d'énergie sous diverses conditions (p.ex. hautes/basses eaux). Un cadastre des grottes, sources et captages d'eau souterraine peut aussi être indispensable.

Dans le cas de la protection des grottes et du karst, il arrive que **l'évaluation de l'état actuel** ne puisse être réalisée de manière quantitative que pour certains domaines (p.ex. débits, teneurs en nutriments, température, etc.). Pour quelques paramètres existent en outre des prescriptions légales (p.ex. les concentrations limites de polluants dans les eaux souterraines selon l'Ordonnance sur la protection des eaux - OEaux). Dans d'autres domaines environnementaux l'évaluation doit être faite selon des critères qualitatifs mais aussi objectifs que possible (critères scientifiques pour la plupart ; p.ex. biodiversité, caractère unique d'un site paléontologique,...). Le concept géotope de la SSS/SGH donne à ce sujet une base très utile. En outre, le statut de protection d'un objet (géotope, biotope, site naturel, site archéologique, site IFP, parc d'importance nationale, espèces et écosystèmes protégés, autres inventaires) ou les mesures de protection existantes (fermeture de grotte, concept de gestion des visites, etc.) doivent explicitement être inclus dans la description.

Dans plusieurs domaines de la protection de la nature et du patrimoine la rareté est un critère central d'évaluation : y a-t-il des objets aux caractéristiques similaires dans les environs immédiats, dans la région, en Suisse ou dans le monde ? Cette espèce est-elle endémique, rare ou fréquente ? Cette manière d'évaluer permet relativement facilement **d'attribuer une importance internationale, nationale, régionale ou locale** à une grotte, une partie de grotte ou un système karstique ou de ne lui attribuer **aucune importance particulière**. Ce faisant, il faut souligner que l'évaluation se fait toujours en fonction de l'importance maximale attribuée à un domaine particulier d'un objet donné ; il ne s'agit en aucun cas de faire une moyenne entre les domaines. L'importance nationale d'un seul élément (par exemple, un massif de concrétions absolument unique, une espèce animale, ou encore un site archéologique) peut justifier à elle seule l'importance nationale d'un site ou d'une partie de site. En outre, la valeur scientifique d'un site archéologique par exemple n'est pas modifiée, ni positivement ni négativement, par le caractère unique d'un massif de concrétions.

A côté de la description et de l'évaluation de l'état actuel il convient aussi d'estimer la **sensibilité de l'environnement aux effets possibles** de l'ouvrage. Ceci est un élément central pour fixer les objectifs de protection.

### **VI. DEFINITION DES PARAMETRES DETERMINANTS**

Afin de pouvoir ensuite définir des exigences et objectifs et de les comparer avec les états actuel et futurs, il faut encore définir des paramètres mesurables qui devront permettre d'évaluer aussi quantitativement que possible tous les effets potentiels de l'ouvrage (p. ex. débit, qualité de l'eau, température, nombre d'individus d'une espèce de chauve-souris ayant des petits, etc.). Une liste de paramètres recommandés pour la description de l'état actuel et pour la définition d'exigences et d'objectifs pour chaque domaine environnemental est donnée en annexe A. Pour chaque projet des paramètres différents seront choisis d'une part en fonction des objets à protéger (Que faut-il exactement protéger ?) et d'autre part en fonction des facteurs ayant potentiellement un impact sur l'environnement (Comment ce facteur influence-t-il les éléments dignes de protection d'un objet ?).

## **VII. DEFINITION DES OBJECTIFS DE PROTECTION : EXIGENCES ET OBJECTIFS**

Pour les paramètres définis, nous pouvons maintenant définir des objectifs de protection en prenant en compte la sensibilité et la valeur de l'objet.

Les **exigences** représentent les limites tolérables d'atteintes à l'environnement. Elles sont choisies de façon à ne pas déséquilibrer le système naturel et à éviter des impacts importants et durables. Les exigences se basent sur l'évaluation de l'état actuel. Dans la mesure du possible elles seront basées sur des données quantifiées (p.ex. valeurs limites de concentration dans les eaux), ou qualifiées (p.ex. conservation des sites naturels) définies dans les lois (fédérales ou cantonales) ou dans des plans de protection existants (géotopes, biotopes, etc.). Plus la valeur d'un objet est élevée, plus les exigences seront définies de manière restrictive. Les exigences doivent donc être adaptées à chaque cas spécifique. La sensibilité de l'objet est en outre décisive pour le choix des exigences. Par exemple la modification tolérable du climat d'une glacière sera généralement plus petite que celle d'une grotte « normale ». De même, les ébranlements tolérables dans une grotte instable (p.ex. dans le gypse) ou très concrétionnée seront plus faibles que dans une grotte stable et peu décorée. Le non-respect d'exigences, même après optimisation du projet, doit être considéré comme un argument solide contre la réalisation d'un projet.

Les **objectifs** représentent l'état souhaitable. Ces valeurs sont celles vers lesquelles l'optimisation du projet devrait tendre. Elles fixent donc un but et une échelle de comparaison, par exemple pour évaluer l'efficacité d'une mesure d'optimisation. Une telle optimisation est d'ailleurs présente dans certaines bases légales (loi sur la protection de l'environnement LPE, loi sur la protection des eaux LEaux,..). Si ceci est raisonnablement faisable, l'impact devrait donc être réduit au-delà des exigences, ceci indépendamment de la valeur de l'objet.

L'annexe A présente une liste de exigences et objectifs dans différents domaines environnementaux.

## **VIII. IMPACTS PENDANT LES DIFFERENTES PHASES DU PROJET**

Les impacts potentiels d'un projet sur les divers domaines environnementaux doivent être décrits en tant que modifications par rapport à l'état actuel (en admettant qu'il est suffisamment connu). Ils peuvent considérablement varier selon la phase de réalisation du projet (construction, exploitation, démontage) et doivent donc être décrits séparément. L'évaluation des effets sur l'environnement doit être aussi complète que possible, c'est-à-dire qu'elle doit couvrir tous les paramètres qui sont ou pourraient être influencés par le projet selon la définition du sous-chapitre VI. De plus, les différents états ou conditions d'exploitation possibles du système doivent être considérés, en particulier l'exploitation normale, de pointe, en régime spécial, l'entretien, les pannes, etc., de même que les activités et installations annexes, telles que décharges, entrepôts, aménagements divers, voies d'accès, etc.

## **IX. EVALUATION DES IMPACTS ET IDENTIFICATION DES POINTS CRITIQUES**

L'évaluation finale se base principalement sur la comparaison entre les impacts attendus pour chaque domaine de l'environnement et les exigences et objectifs. Les points critiques devraient ainsi ressortir assez clairement et être décrits. En principe chaque non-respect d'une exigence représente un point critique majeur et chaque atteinte aux objectifs un point critique secondaire, qui doivent faire l'objet d'une mesure d'optimisation.

## **X. OPTIMISATION DU PROJET ET MESURES**

Les points critiques étant identifiés, il reste à prendre des mesures pour essayer d'adapter le projet afin de respecter les exigences (objectifs) proposées. Souvent des adaptations modestes du projet permettent de réduire fortement son impact (p.ex. l'installation d'une porte étanche peut éviter une modification significative du climat d'une grotte, ou le déplacement de quelques mètres d'un tunnel peut permettre d'éviter la destruction d'une grotte, ce qui peut d'ailleurs aussi présenter un intérêt direct pour le projet lui-même !). Dans d'autres cas, des mesures conséquentes sont nécessaires (par exemple pour garantir un débit minimum ou en imposant des mesures très strictes pour la construction). Enfin, certains conflits ne peuvent être résolus qu'en renonçant au projet. L'adéquation entre les mesures proposées, le maintien du projet et la protection de l'environnement ne peut se faire que par une pesée des intérêts en jeu. Les conclusions de cette évaluation ainsi que les arguments pour le projet sont des facteurs clés dans cette pesée d'intérêts.

Dans l'optique du développement durable il faut identifier et limiter le plus tôt possible les impacts *potentiellement nuisibles* ou incommodants pour l'environnement (p.ex. LPE, LEaux). C'est pourquoi pour tout projet il faut, indépendamment de l'importance des sites naturels concernés, réduire autant que possible les impacts. On appliquera cependant un principe de proportionnalité pour prévoir des *mesures préventives de réduction des impacts environnementaux*, c'est-à-dire des mesures qui dépassent les exigences imposées par les lois ou définies dans cette évaluation. Si toutes les exigences sont respectées, les mesures retenues pour réduire davantage les impacts sur l'environnement doivent être *adéquates, nécessaires et non excessives au regard de leur finalité* (possibles du point de vue de la technique et de l'exploitation, et économiquement supportables).

Fondamentalement, les mesures permettant d'éviter les impacts seront préférées aux mesures permettant de les réduire. Des mesures de compensation sont souvent inadaptées puisqu'il est généralement impossible de reconstruire les objets concernées (il est par exemple difficile de compenser la rupture de concrétions millénaires...).

En considérant les difficultés d'intervention en cas de dommage, les mesures préventives auront la priorité sur les autres. On prévoira en particulier des réflexions détaillées sur l'organisation des travaux (cahier des charges environnemental pour les entreprises), ainsi qu'un suivi environnemental de la phase de chantier et un contrôle des résultats (en particulier en rapport avec les eaux souterraines).

## ***XI. IMPACT RESIDUEL ET EVALUATION FINALE***

La détermination de l'impact résiduel (après optimisation du projet) est établie de manière similaire à l'étape IX. Si le maître d'ouvrage intègre les mesures dans le projet, l'évaluation doit être revue en conséquence. S'il reste des points critiques entre les impacts résiduels estimés et les objectifs de protection définis, il faut les décrire explicitement. Tout non-respect d'une exigence doit être considéré comme critique. Dans certains cas, surtout si les impacts estimés sont grands ou si l'objet concerné est très sensible et important, la fiabilité des informations doit être estimée (analyse de sensibilité).

**L'évaluation finale** se fait en classant chacun des impacts résiduels identifiés pour chaque domaine environnemental dans une des catégories suivantes :

- non problématique
- impact faible à moyen ou à limiter par des mesures de protection adéquates
- critique (exigences non respectées ou mesures préventives insuffisantes).

## ***XII. CONCLUSION***

En se basant sur les conflits identifiés entre les objectifs de protection, et les impacts estimés liés à l'ouvrage, malgré une optimisation du projet, l'impact résiduel final peut être évalué globalement pour l'ensemble du projet. Chaque non-respect des exigences doit être mentionné clairement et explicitement. Par principe, les exigences doivent être respectées pour chaque domaine environnemental. Si ceci n'est pas le cas et qu'il n'y a pas d'intérêts prépondérants pour le projet, l'abandon du projet doit être envisagé.

## **ANNEXE A: PARAMETRES POUR LA DESCRIPTION DE L'ETAT ACTUEL, LA DEFINITION DES OBJECTIFS DE PROTECTION ET L'EVALUATION DE L'IMPACT**

La liste ci-dessous comprend les domaines environnementaux qu'il convient de prendre en considération lors de l'évaluation d'un projet dans le karst. Les thèmes à traiter pour un cas spécifique dépendent du projet en question et peuvent être identifiés au moyen de la matrice d'identification des impacts (étape III du texte principal). Dans la plupart des cas, certains thèmes doivent pouvoir être exclus très rapidement de l'évaluation, s'ils ne sont pas pertinents pour le projet en question. Pour chaque domaine environnemental, les étapes IV à XII décrites plus haut sont à réaliser séparément, comme le montre le tableau 2.

Dans la liste thématique ci-dessous, structurée selon les domaines environnementaux, sont mentionnées tout d'abord les principales caractéristiques spécifiques au karst dont il convient de tenir compte. Ensuite sont énumérés les paramètres recommandés pour la définition de l'état actuel, des objectifs de protection et de l'impact. **Les paramètres, exigences et objectifs de la liste ci-après représentent des exemples ; ils doivent être adaptés et, si nécessaire, complétés en fonction du cas d'espèce.** Selon le paramètre concerné et la situation, il faut non seulement fixer des limites supérieures, mais aussi des limites inférieures.

### **1) AIR ET CLIMAT**

#### **Caractéristiques spécifiques au karst**

- > Par rapport au climat extérieur, celui des grottes est particulièrement stable et vulnérable aux changements (température, humidité de l'air, circulation, pCO<sub>2</sub>). Sa dynamique peut cependant varier dans une mesure considérable (direction du vent, force des courants d'air dans la grotte), selon la saison et la situation météorologique. De petits changements du climat souterrain (p. ex. ventilation) peuvent avoir des impacts considérables sur la faune, les concrétions (corrosion, assèchement) et la conservation de vestiges et autres remplissages karstiques.
- > Des interventions en surface qui modifient le microclimat local peuvent avoir un impact considérable sur le climat d'une grotte (par ex. nappe d'air froid à l'arrière d'un barrage).
- > Les grottes sont des milieux clos. Il convient d'en tenir compte de manière appropriée, sur le plan de la qualité de l'air (sécurité du travail, mais aussi impact sur la faune et les concrétions). Le cas échéant, des systèmes d'alarme doivent être installés (notamment pour le CO<sub>2</sub> et le CO).

#### **Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection**

- > Météorologie et climat extérieur

<i>Description</i>	<i>Microclimat, situations d'inversion, répartition des précipitations (par ex. précipitations extrêmes, périodes de sécheresse, couverture neigeuse).</i>
--------------------	--

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

### > Courants d'air dans la grotte

*Description* Vitesse des courants d'air, volume échangé, direction, régime.

*Exigences* La modification de la moyenne annuelle du volume échangé ne doit pas dépasser  $\pm 50\%$ .

Toute intervention massive dans la circulation de l'air doit être évitée ; par ex. fermeture d'une galerie initialement ventilée, ou ouverture d'une galerie initialement non ventilée.

*Objectifs* Régime des circulations d'air inchangé.

### > Température de la grotte

*Description* Température et sa variabilité, séries temporelles.

*Exigences* La modification de l'amplitude annuelle des variations de la température ne doit pas dépasser  $\pm 50\%$ .

La modification de la température moyenne annuelle ne doit pas dépasser  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

*Objectifs* Les variations de température doivent rester dans la limite des valeurs naturelles.

### > Humidité relative dans la grotte

*Exigences* L'humidité relative doit se monter, en tout temps, au moins à 95%.

*Objectifs* Les variations de l'humidité relative doivent rester dans la limite des valeurs naturelles.

### > Poussière dans la grotte

*Description* Quantité, granulométrie, composition minéralogique et chimique.

*Exigences* Jamais de poussière en grande quantité dans l'air de la grotte (pas plus de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  
Pas de dépôt visible de poussière.

*Objectifs* La concentration en poussière doit rester dans la limite des fluctuations naturelles (la plupart du temps, la concentration doit rester négligeable).

### > Concentration en $\text{CO}_2$ dans la grotte

*Description* La concentration en  $\text{CO}_2$  et ses fluctuations sont les indicateurs d'une modification de l'aération, d'une pollution organique de l'eau souterraine ou d'une modification significative de l'activité du sol.

*Exigences* La modification de l'amplitude des variations de la concentration ne doit pas dépasser  $\pm 30\%$ .

*Objectifs* La concentration en  $\text{CO}_2$  doit rester dans la limite des fluctuations naturelles.

### > Qualité de l'air : autres gaz ( $\text{CO}$ , gaz organiques etc.) dans l'air de la grotte

*Exigences* En principe, les valeurs limites relatives aux immissions dans les immeubles peuvent s'appliquer ; des écarts de courte durée (pendant quelques jours de travail) sont à évaluer de cas en cas.

Pour les exigences relatives aux émissions et aux types d'installations et de véhicules, et pour les conditions concernant les carburants, voir ordonnance sur la protection de l'air (OAir).

Fixer de cas en cas des exigences par rapport à la ventilation et la durée de travail (prendre garde à l'impact possible sur le climat de la grotte !).

Surveiller la qualité de l'air (installation d'alarme).

*Objectifs* La concentration en gaz de toute nature doit rester dans la limite des fluctuations naturelles.

## 2) EBRANLEMENTS

### Caractéristiques spécifiques au karst

- > Des ébranlements – tout particulièrement par des tirs à l'explosif dans la phase d'exécution d'un projet – peuvent provoquer des dommages irréparables à des concrétions ou des sédiments, ou encore l'effondrement d'une grotte. Cela peut compromettre le projet ou, en cas d'accident, causer des dégâts notables à l'environnement (notamment une pollution de l'eau souterraine).
- > De plus, des ébranlements peuvent influencer la direction d'écoulement des eaux souterraines en obstruant ou en agrandissant des zones d'écoulement préférentiel (fissures, conduits karstiques).

### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

- > Ebranlements prévisibles ou potentiels

*Description* Causes des ébranlements, fréquence, intensité (vitesses, accélérations), amortissement en fonction de la distance.

*Exigences* Pour une grotte stable sans remplissages sensibles : vitesse 30 mm/s, pour des grottes non stables (p. ex. dans le gypse) ou contenant des remplissages sensibles (concrétions, sédiments clastiques, etc.) à définir selon conditions locales.

Définir des exigences par rapport aux méthodes de construction ou d'excavation, charges d'explosif maximum. Les conditions sont à définir, le cas échéant, sur la base d'analyses détaillées, par ex. tirs d'essai. On tolérera une probabilité de dégâts de 1% au maximum.

Mise en service d'une installation d'alarme (chantier et/ou grotte).

*Objectifs* Pas d'ébranlements notables ou répétitifs.

- > Concrétions ou autres formations importantes (par ex. dépôts de limons)

*Description* Inventaire des concrétions et des sédiments potentiellement menacés et évaluation de leur vulnérabilité (par ex. abondance de concrétions fistuleuses), inventaire des dégâts déjà existants (causés par des visites de la grotte ou des tremblements de terre).

*Exigences* Suivi (« monitoring ») minutieux.

Les conditions pour la construction et l'exploitation sont définies en fonction des objets à protéger et de leur sensibilité.

*Objectifs* Pas de dommages visibles.

## 3) EAUX: EAU SOUTERRAINE, DRAINAGE, EVACUATION DES EAUX

### Caractéristiques spécifiques au karst

- > En régions karstiques, l'eau s'infiltré généralement de manière directe dans des pertes (emposieux ou ponors), dolines, lapiés, fissures. Contrairement au mode de circulation de l'eau souterraine dans les roches meubles (graviers etc.), les conduits karstiques peuvent être de grande dimension et les temps de séjour très courts. Le potentiel d'autoépuration de l'eau souterraine y est par conséquent limité, et l'eau souterraine dans le karst est vulnérable. Compte tenu des exigences élevées concernant l'eau po-

table, il est nécessaire d'attribuer une priorité élevée à la qualité de l'eau souterraine. D'autre part, le caractère limité des temps de séjour et de la capacité d'emménagement des conduits karstiques est responsable d'importantes fluctuations du débit des sources karstiques.

- > Les ruisseaux souterrains ont plus d'analogie avec les cours d'eau de surface (écoulement concentré, avec beaucoup d'énergie) qu'avec un aquifère meuble, par ex. en gravier (écoulement saturé, homogène en grand, énergie modérée). Il convient de tenir compte de manière appropriée de la dynamique à court terme (crues, contenu variable en nutriments, fluctuations de la qualité de l'eau...) et du régime du transport de matière solide.
- > L'eau souterraine dans le karst représente un véritable écosystème (voir plus bas, chiffre 6, domaine flore, faune et habitats).
- > Les aménagements hydrauliques de surface (par ex. lacs d'accumulation, canaux, tronçons de cours d'eau avec débits résiduels), l'agriculture et l'étanchéification par l'urbanisme peuvent modifier à grande distance les conditions des eaux souterraines : régime, répartition des pressions, infiltration, émergence.
- > Dans les régions karstiques, la qualité et la quantité des eaux de surface qui s'infiltrent (pertes, infiltration diffuse...) peuvent fortement influencer les eaux souterraines et leurs écosystèmes.
- > Les sites contaminés ou les accidents mettant en jeu des substances pouvant polluer les eaux souterraines peuvent aussi porter préjudice à des sources à grande distance, en raison des liaisons hydrauliques directes.
- > Des situations météorologiques extrêmes ont montré que des modifications dans le bilan hydrique peuvent conduire au colmatage ou à l'ouverture de galeries. Elles peuvent être à l'origine de nouvelles dolines, sources ou même de glissements de terrain. Pour cette raison, une connaissance suffisante du bilan hydrique et des cartes hydrogéologiques appropriées sont indispensables dans le cas de nombreux projets.
- > Pour l'écologie des eaux de surface et sa signification en tant qu'élément du paysage, il convient de se référer aux spécialistes concernés et à la littérature existante (Boschi et al., 2003). En complément, il convient d'accorder aux spécificités des écosystèmes des régions karstiques (par ex. régions de marais) l'attention qui leur est due.

### **Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection**

#### > Débit

<i>Description</i>	<i>Débit : minimum (Q365), maximum (HQ1), débits moyens mensuels, débit moyen annuel, Q347, HQ10, HQ30, HQ100.</i>
<i>Exigences</i>	<i>Débits résiduels selon LEaux (Q347 + augmentation du débit résiduel selon LEaux). Débits résiduels variables selon la saison.</i>
<i>Objectifs</i>	<i>Au moins un débit de crue par an avec un débit de Q10 (curage). Débits et hydrodynamique inchangés.</i>

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

### > Température de l'eau

*Exigences* La modification de l'amplitude annuelle des variations de la température ne doit pas dépasser  $\pm 50\%$ .

La modification de la température moyenne annuelle ne doit pas dépasser  $\pm 1$  °C.

*Objectifs* Les variations de température doivent rester dans la limite des valeurs naturelles.

### > Qualité de l'eau / Hydrochimie

*Description* Substances dissoutes inorganiques et organiques, colloïdes, particules, teneur en nutriments ; bactériologie ; fluctuations dans le temps et amplitude de tous les paramètres.

*Exigences* La modification de l'amplitude annuelle des variations de la composition chimique (teneur en nutriments, ...) ne doit pas dépasser 50%.

Exigences selon OEaux, annexes 1 & 2, et instructions pratiques pertinentes de l'OFEV (concerne surtout les régions avec captages existants ou prévus).

Pas de préjudice à un aquifère exploité, aussi dans le cas d'un accident important (=> installations de rétention, plan d'intervention etc.).

*Objectifs* Composition des eaux et ses variations inchangées.

### > Transport solide, alluvions

*Description* Quantité, granulométrie, composition minéralogique, fluctuations de la quantité et de la granulométrie.

*Exigences* Fixer une valeur maximale tolérable d'apports solides résultant du projet.

L'amplitude naturelle du transport de sédiments ne doit pas être dépassée.

L'augmentation du transport total solide moyen ne doit pas dépasser 50%.

*Objectifs* Transport de sédiments et sa dynamique inchangés.

### > Formation aquifère et couche de couverture

*Description* Extension (géométrie), épaisseur, débit, pression hydraulique / surface piézométrique (y compris fluctuations dans le temps et amplitude), réalimentation, ressources, domaine d'alimentation, sources etc.

Secteur de protection des eaux  $A_u$ , aire d'alimentation  $Z_u$ , zones de protection des eaux souterraines S1, S2, S3, périmètres de protection des eaux souterraines, etc.

*Exigences* Pas d'atteinte significative à la couche de protection.

Pas d'atteinte significative aux conditions de pression (par ex. par mise en communication d'aquifères avec des potentiels hydrauliques différents).

Fixer conditions dans le cas de l'étude et de l'assainissement de sites contaminés (empêcher les processus de mobilisation).

### > Infiltration

*Exigences* L'infiltration le long du tronçon X / dans la zone Y ne doit, en moyenne, pas être modifiée de plus de 20%.

En cas de sécheresse, l'infiltration ne doit pas être diminuée.

*Objectifs* Conditions d'infiltration inchangées.

### > Mise en eau derrière retenue

*Exigences* Le tronçon X de la grotte concernée / les sédiments à l'endroit Y / l'habitat de type Z ne doit pas être inondé (à définir pour chaque cas selon les conditions sur place).

La cote supérieure de la partie inondée doit rester dans le domaine des fluctuations naturelles (la cote supérieure correspond au niveau piézométrique en crue).

*Objectifs* Pas de mise en eau artificielle.

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

### > Exploitation

*Description* Installations d'exploitation existantes et prévues pour l'eau potable et industrielle, ou pour la production d'énergie hydraulique ; quantité exploitée et type d'utilisation, qualité, conditions imposées (débit résiduel, débit de dotation etc.), type d'exploitation (par ex., exploitation responsable de marnage, ou variations brusques du niveau d'un cours d'eau).

*Exigences* Pas de préjudice porté à des captages d'eau potable existants ou prévus.  
Indemnité dans le cas de perte de rendement concernant des eaux jouissant d'une concession.

### > Drainage et évacuation des eaux

*Description* Installations existantes de traitement et d'évacuation des eaux claires et usées, capacité, qualité, mode d'évacuation prévu (infiltration, déversement dans les eaux, canalisation) ; prévention des accidents.

*Qualité et quantité des eaux usées à évacuer (y compris charge en sédiments).*

*Eaux souterraines et sols aux emplacements d'infiltration.*

*Exigences* Pas d'infiltration artificielle dans un secteur déterminé (défini selon conditions locales).

*Pas d'infiltration sans passage à travers un sol.*

*Quantité à définir selon conditions (p. ex. maximum 100 mm/j et maximum 5% du débit du bassin karstique).*

*La qualité de l'eau doit remplir les exigences de l'OEaux ou éventuellement des exigences plus sévères si justifié.*

*La charge en sédiments des eaux claires et usées à infiltrer ne doit pas induire d'augmentation de plus de 50% des pics de turbidité de la source en hautes eaux, ni de valeurs de turbidité dépassant 5 NTU en basses eaux.*

*Surveillance de la qualité et de la quantité de l'eau usée (paramètres, fréquence etc.).*

### > Prévention contre les conséquences d'un dysfonctionnement

*Description* Substances utilisées pouvant polluer les eaux, carburants, etc., y compris quantités ; transvasement, transport...

*Sites contaminés connus ou potentiels : emplacement, quantité, type, nécessité d'un assainissement, mesures prévues, etc.*

*Exigences* Elaboration d'un concept pour la gestion des matériaux et des déchets.

*Etablissement d'un plan d'action en cas d'intervention dans un aquifère exploité ou potentiellement exploitable.*

*Utilisation de machines de chantier de la dernière génération.*

*Utilisation de carburants et d'huiles pour moteur biologiquement dégradables.*

*Définition de conditions pour la gestion des déchets et pour l'utilisation de substances pouvant polluer les eaux (p. ex. quantités maximales de stock autorisées sur le chantier, conditions de stockage, place de stationnement étanche).*

*Construction d'installations de rétention dans le cas de l'utilisation de substances pouvant polluer les eaux, à partir d'une quantité déterminée de ces substances.*

*Définition de conditions pour l'entretien de l'installation (p. ex. fréquence de vérification des joints).*

*Mise sur pied d'un suivi environnemental de la phase de réalisation (cahier des charges...).*

### > Les eaux en tant qu'élément du paysage

*Description* Voir géotopes, chiffre 8 ci-dessous.

#### 4) Sol

##### Caractéristiques spécifiques au karst

- > Les sols, au sens pédologique, occupent un rôle central dans la genèse et le développement des cavernes (pour les sédiments des cavernes, voir plus bas, chiffre 8, géotopes). L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans les eaux d'infiltration accroît massivement le pouvoir corrosif de l'eau, ce qui peut accélérer sensiblement la genèse des cavernes sous-jacentes et modifier la composition chimique de l'eau souterraine.
- > La teneur en CO<sub>2</sub> de l'eau (et, par là, l'existence du sol) exerce une influence notable sur la formation des concrétions. Une modification de cette teneur peut accélérer ou réduire la croissance des concrétions, ou peut même conduire à la destruction de concrétions par corrosion.
- > Des modifications apportées au sol (par ex. par terrassements ou construction de routes) peuvent avoir pour conséquence un apport accru de sédiments et de nutriments dans les eaux souterraines karstiques et les cavernes, ce qui peut entraîner une turbidité de l'eau, des dépôts indésirables à la surface des concrétions, ainsi qu'un colmatage de galeries et une atteinte aux écosystèmes.
- > Au sujet de la problématique des sols au sens strict (fertilité des sols...) il est à noter qu'en régions karstiques les sols présentent des durées de régénération souvent élevées. Par ailleurs, une modification du bilan hydrique peut entraîner une sursaturation en eau (émergence d'eau) ou au contraire un dessèchement des sols.

##### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

###### > Propriétés pédologiques

*Description*            *Épaisseur, type, structure, teneur en eau ; cartographie, exploitation, etc. (selon les normes usuelles : p. ex. Instructions – Evaluation et utilisation de matériaux terreux, 2001, OFEFP).*  
*Danger d'érosion.*  
*Risque de contamination (dans le cas d'une suspicion de site contaminé).*

###### > Modifications provisoires ou permanentes apportées au sol

*Description*            *Modifications provisoires ou permanentes, pistes de chantier, installations, entrepôt intermédiaire, déblais ou décharges, etc.*

*Exigences*            *Etablissement d'un concept pour la gestion des matériaux.*  
*Les emprises totales (provisoires et permanentes) doivent être réduites à la surface minimum nécessaire et ne doivent en aucun cas dépasser 2 % de la surface karstique (2 ha/km<sup>2</sup>).*  
*Interruption du travail en cas de conditions météorologiques défavorables.*  
*Surface maximale mise à nu simultanément de 200 m<sup>2</sup>.*  
*Pas de remaniement du sol dans un secteur déterminé, particulièrement sensible.*

*Objectifs*            *Pas de modifications provisoires du sol ; les modifications permanentes sont à réduire au maximum.*  
*Pas d'augmentation de l'érosion du sol.*

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

### > Erosion

*Exigences*                      *Remise en culture dans un délai fixé p. ex. une semaine après la fin des travaux / avant août (début des tempêtes d'automne).*  
*Interruption du travail de chantier en cas de conditions météorologiques défavorables.*  
*Garantir le drainage / l'infiltration / l'évacuation des eaux.*

### > Utilisation agricole

*Objectifs*                      *Pas de préjudice porté par rapport à l'utilisation antérieure.*

## 5) PROTECTION CONTRE LES CATASTROPHES

### Caractéristiques spécifiques au karst

- > Des modifications du bilan hydrique peuvent conduire à l'apparition de sources et de glissements de terrain.
- > Le régime des crues (eaux souterraines et de surface) peut être modifié par certains projets.
- > L'effondrement d'une caverne ou d'une doline, ainsi que le processus de crue, peuvent mettre un projet sérieusement en question. Ces facteurs augmentent le risque d'accident et peuvent conduire à des dégâts significatifs à l'environnement. Une telle situation peut avoir finalement pour conséquence l'échec d'un projet – en d'autres mots une atteinte à l'environnement, sans que le projet ne puisse être mené à terme.
- > Les activités de chantier peuvent provoquer des instabilités dans des cavernes, qui peuvent sérieusement entraver la visite de celles-ci et, par conséquent, les mesures de surveillance. Les perturbations du régime des eaux peuvent aussi influencer le comportement des crues dans une grotte ainsi que le danger lié à celles-ci.

### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

#### > Menaces et risque liés à des dangers naturels à un endroit donné

*Exigences*                      *Pas d'augmentation notable de la probabilité et de l'ampleur des dangers naturels liés à la construction et à l'exploitation d'une installation. Il convient aussi de prendre dûment en compte la possibilité d'accidents.*  
*Pas de constructions dans un secteur déterminé.*  
*La charge hydraulique ne doit pas dépasser la valeur des fluctuations naturelles, pour l'ensemble de l'aquifère.*

*Objectifs*                      *Pas de modification des processus en question.*

#### > Pollution des eaux

*Voir plus haut, chiffre 3, eaux.*

## 6) FLORE, FAUNE, HABITATS

### Caractéristiques spécifiques au karst

- > Les cavernes représentent durant une partie de l'année un biotope important pour les chauves-souris et pour d'autres espèces animales (gîtes de reproduction, hibernation). La faune mentionnée est alors particulièrement vulnérable aux perturbations (bruit, chaleur, gaz d'échappement, visiteurs).
- > D'autres écosystèmes moins visibles méritent une protection d'autant plus attentive ; ils sont présents exclusivement dans les cavernes et dans les fissures ; en Suisse, ils comprennent presque uniquement des invertébrés. Ces écosystèmes sont fréquemment très dépendants du bilan hydrique et des nutriments spécifiques à la caverne ou à une galerie particulière, ainsi que de l'absence de lumière. Ils réagissent de manière très sensible, par exemple, à des interventions dans les sols entraînant une augmentation de l'apport en sédiments. Une connaissance au moins rudimentaire des écosystèmes locaux est par conséquent – selon les particularités du projet – recommandée.
- > En ce qui concerne l'écologie des écosystèmes de surface dans les régions karstiques, il convient de se référer aux spécialistes des écosystèmes superficiels et à la littérature existante. Ce faisant, on prendra soin de tenir compte de manière adéquate des particularités de ces écosystèmes (par ex. lapiés, zones de marais).

### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

#### > Habitats protégés

*Description* Type et dynamique de l'habitat, fonctions et liens écologiques.

*Exigences* Pas d'atteinte significative à un biotope d'importance nationale (cf. inventaires), à un habitat digne de protection, etc.

*Objectifs* Pas de perturbation significative des quartiers d'hiver et des gîtes de reproduction de chauves-souris pendant les périodes concernées.

#### > Espèces représentées et fréquence de certaines espèces

*Description* Espèces rares, menacées et protégées, listes rouges, espèces caractéristiques, etc.

*Exigences* Pas d'atteinte significative portée aux espèces endémiques ou figurant sur une liste rouge.

*Objectifs* Pas de modification significative des indicateurs biologiques.

*Objectifs* Pas de modification de l'écosystème et du régime des nutriments.

#### > Eclairage artificiel

*Description* Luminosité naturelle (zone de l'entrée de la caverne), éclairage artificiel existant.

*Exigences* L'éclairage ne doit pas entraîner de développement de flore au voisinage des lampes.

*Objectifs* Pas d'éclairage artificiel permanent ou de longue durée.

*Objectifs* Pas de modification de la luminosité naturelle dans la zone de l'entrée.

#### > Apport de nutriments

*Description* Apport supplémentaire de nutriments, p. ex. sous forme de matériaux de construction (principalement bois), d'hydrocarbures, de sols lessivés, de résidus de visiteurs (excré-

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

- ments, restes de repas, en cas de grande affluence de visiteurs aussi cheveux, pellicules, etc.).*
- Exigences*            *L'apport de nutriments ne doit pas dépasser de plus de 50% l'apport naturel.*
- Objectifs*            *Pas de modification de l'apport de nutriments.*
- > **Perturbation d'espèces sensibles**
- Exigences*            *Les nuisances sonores du chantier ne doivent pas perturber gravement d'importantes colonies de chauves-souris.*
- Objectifs*            *Les 150 % du fond sonore naturel ne doivent pas être dépassés durablement.*
- > **Eléments vitaux**
- Description*            *Régime hydrologique, température, apport de nutriments, pollutions, etc.*
- Objectifs*            *Pas de modification des paramètres significatifs des éléments vitaux.*

## 7) PAYSAGE ET ASPECT DES SITES

### Caractéristiques spécifiques au karst

- > Dans les régions karstiques, les réseaux spéléologiques représentent un élément caché du paysage. Les systèmes de grottes et leurs galeries peuvent être perçus, par leur caractère unique et leur esthétique, d'une manière équivalente à celle des formes de surface. Il convient de tenir compte de ces sites naturels de manière adéquate.
- > Dans les limites des zones de protection du paysage (Inventaire fédéral des paysages et sites naturels d'importance nationale IFP, zones de sites marécageux et autres ; zones de protection d'importance nationale, cantonale et locale), les cavernes, en tant qu'élément du paysage, doivent être dûment protégées ; leur protection doit tenir compte du degré de protection de la région et des particularités de la cavité.
- > Lors de l'évaluation des parties visibles d'un paysage karstique (en surface), en appliquant les critères habituels (p.ex. Esthétique du paysage – Guide pour la planification et la conception de projets, 2001, OFEV), il doit être tenu compte de manière adéquate des aspects géomorphologiques (formes de surface : lapiés, dolines, etc.) et géologiques spécifiques au karst, ainsi que de la relation entre les formes superficielles et les formes souterraines.

### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

- > Inventaire des paysages, zones de marais, sites naturels (à l'échelle nationale, régionale, locale)
- Description*            *Vérifier si l'objet figure dans un inventaire ; exploitation, particularités, caractère intact.*
- Exigences*            *Pas de dévalorisation significative d'un objet d'importance nationale/régionale/locale.*
- Objectifs*            *Pas d'impact sur des objets classés.*
- > Atteinte au caractère particulier d'un paysage ou d'une caverne
- Description*            *voir concept géotopes (cf. plus bas, chiffre 8).*
- Exigences*            *Les interventions prévues ne doivent pas modifier la valeur d'un objet de manière significative.*

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

- Pas de constructions importantes dans les parties karstiques de parcs d'importance nationale (y compris IFP).*
- Objectifs** *Cavernes : pas de modification.  
Dans le cas de paysages karstiques antérieurement sans équipements d'infrastructure, pas d'utilisation intensive.*
- > **Interventions à caractère visible / intégration dans le paysage**
- Exigences* *La construction ne doit pas couper l'horizon (vue de 200m).*
- Objectifs* *La construction s'intègre bien dans le paysage.  
La construction et plus petite que les arbres aux alentours.*
- > **Atteinte à des formes karstiques de surface**
- Exigences* *Surface soumise à des atteintes : max. 2% (2 ha/km<sup>2</sup>) de la surface totale des formes karstiques typiques.*
- Objectifs* *Pas de modification aux formes karstiques de surface.*
- > **Importance en tant qu'espace de détente, importance pour le tourisme**
- Description* *Mise à contribution pour le tourisme ainsi que pour des activités de plein air comme randonnées, randonnées à ski, spéléologie, grottes aménagées.*
- Objectifs* *Pas de préjudice porté à l'utilisation (durable) antérieure et potentielle.*

## **8) SITES ARCHEOLOGIQUES, GEOTOPES ET IMPORTANCE POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

### **Caractéristiques spécifiques au karst**

- > Les grottes ont joué un rôle important dans diverses phases de l'évolution de l'humanité. D'autre part, elles offrent des conditions optimales pour la conservation (très faibles variations de température et d'humidité de l'air). De très nombreuses découvertes archéologiques et paléontologiques importantes en sont le témoin. Une modification des conditions de circulation de l'air dans une grotte (qui peut être liée à des projets en surface !) peut causer la destruction d'objets. En cas d'indices de découverte archéologique, il est absolument nécessaire de prendre contact avec les services spécialisés compétents.
- > Les géotopes représentent des témoins significatifs de l'histoire de la Terre et donnent des informations sur le développement du paysage et du climat. Les géotopes spéléologiques comprennent, à côté des cavernes, également des formes karstiques de surface comme les lapiés, dolines, pertes, sources. Par exemple, les dépôts à l'intérieur des cavernes tels que les concrétions ou les sédiments détritiques (par ex. le limon) représentent des archives climatiques de valeur unique. La forme de la section des galeries et leur disposition donnent des informations sur le développement du réseau ainsi que, en surface, sur le développement du paysage (creusement des vallées) et du réseau de cours d'eau. Les cavernes offrent également l'accès à des affleurements géologiques non accessibles en surface. Au point de vue de la paléontologie, elles permettent souvent des découvertes uniques, qui témoignent par exemple du développement des espèces animales.

Les éléments géomorphologiques de surface représentent également des témoins du développement du paysage et du climat. Par exemple, la vitesse du retrait d'un glacier peut être reconstituée sur la base de la morphologie des lapiés. Les sédiments déposés dans les dépressions et les dolines peuvent présenter un intérêt scientifique, car, fréquemment, des indices de l'histoire du paysage (par ex. restes morainiques) peuvent encore y être observés.

Certains éléments sont explicitement désignés dans des inventaires (géotopes, sites naturels). Dans la plupart des régions cependant, des inventaires de caractère régional font défaut, ou ceux-ci ne sont que lacunaires. Pour cette raison, une évaluation au moins préliminaire de la valeur scientifique d'un objet par un spécialiste est à recommander. Dans ce but, le concept concernant les **géotopes spéléologiques de la SSS/SGH** peut être consulté.

### Paramètres pour la description de l'état actuel et la définition des objectifs de protection

#### > Importance du site archéologique, sites connus ou potentiels

*Description* Importance nationale / régionale / locale; datation ou âge, ...

*Exigences* Pas d'intervention dans un site d'importance nationale.

*Les interventions ne doivent pas réduire de manière significative l'importance du site, et l'intégrité des objets importants doit être respectée.*

*Objectifs* Pas de préjudice à des sites potentiels et connus.

#### > Possibilité de fouilles de sauvetage

*Description* Possibilité d'étudier un site de manière scientifique et proportionnée avant sa destruction, et de mettre en sécurité les objets représentatifs.

*Exigences* Réalisation d'une étude préalable du site présumé important et menacé de destruction.

#### > Importance des objets et grottes / géotopes

*Description* Vérifier si l'objet figure dans un inventaire (sites naturels, géotopes etc.).

*A caractériser selon le concept « Géotopes » de la SSS/SGH (caractéristique, valeur).*

*Exigences* L'importance scientifique de l'objet (ou de la partie en question de l'objet) est à évaluer selon le concept « Géotopes » de la SSS/SGH.

*Une protection conforme à l'importance de l'objet (ou d'une partie de l'objet) est à assurer.*

*Les interventions prévues ne doivent pas modifier de manière significative la valeur d'un objet.*

*Objectifs* Pas de préjudice à des objets (ou à des parties d'objet) d'importance scientifique confirmée.

#### > Conservation et accès pour la recherche scientifique

*Exigences* L'accès à des objets possédant une valeur scientifique doit être garanti pour des travaux de recherche.

*Objectifs* Accès libre pour l'étude des cavités (travaux d'inventaire et de documentation, recherche universitaire etc.).

## 9) AUTRES DOMAINES ENVIRONNEMENTAUX

La problématique environnementale dans les domaines suivants : protection de l'air (en surface), lutte contre le bruit, rayonnements non ionisés, eaux de surface et leurs écosystèmes aquatiques, fertilité des sols, sites contaminés, déchets et substances à même de nuire à l'environnement, organismes à même de nuire à l'environnement, forêts, flore, faune et habitats en surface, protection du paysage et des sites naturels en surface, est soumise, dans les régions karstiques, aux mêmes conditions que dans les autres régions. Il convient de tenir compte de ces aspects de manière appropriée dans le cadre des études usuelles ; ce faisant, une attention particulière devra être accordée aux caractères spécifiques au karst. Le cas échéant, il sera fait appel aux spécialistes compétents.

- > Sites contaminés, déchets et substances à même de nuire à l'environnement : dans le cadre de l'étude et de l'assainissement de sites contaminés, ainsi que de la gestion de déchets et de substances à même de nuire à l'environnement, il est nécessaire de tenir compte des relations directes avec l'eau souterraine et de la vulnérabilité de celle-ci.

*Description*                      *Concept de gestion des matériaux contaminés : quantité, type, composition ; traitement, entreposage et transport de matériaux contaminés, de déchets, de substances dangereuses.*

*Exigences*                         *Valeurs fixées par l'Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués, OSites.  
Types et quantités maximales de substances entreposées sur le site en question (p. ex. huiles biodégradables, aucun stock d'hydrocarbures de plus de 50 l sur le chantier).  
Bassins de rétention, concept de gestion des accidents approprié avec matériel nécessaire sur place.*

## **ANNEXE B : CHECK-LIST POUR LE PRELEVEMENT D'ÉCHANTILLONS A BUT SCIENTIFIQUE DANS DES GROTTES**

### **CONTEXTE**

En raison de la stabilité du climat souterrain et du fait que les grottes ont été largement épargnées par l'érosion, ces grottes et leur contenu représentent des témoins d'importance scientifique (archéologie, paléontologie, paléoclimatologie, etc.). En revanche, des échantillons appropriés<sup>1</sup> ne sont disponibles qu'en quantités limitées et peuvent même être rares, suivant la problématique étudiée. Parallèlement, les grottes et leur contenu représentent des éléments importants de systèmes karstiques fragiles et dignes de protection, qu'il s'agit de protéger au mieux contre les interventions humaines. Les concrétions et autres sédiments des grottes doivent donc, par principe, rester dans les grottes. Tout prélèvement d'échantillons fait donc l'objet d'un conflit d'intérêts : d'un côté, prélever le moins possible d'échantillons et des échantillons les moins visibles possibles par souci de protection des grottes, de l'autre, obtenir un échantillonnage représentatif pour assurer la qualité scientifique de l'étude (ce qui implique un certain nombre d'échantillons, afin d'obtenir des résultats les plus pertinents possibles). Ce conflit est encore aggravé par le fait que tous les échantillons ne sont pas appropriés, mais qu'on ne le voit pas nécessairement au moment du prélèvement (p.ex. une teneur en uranium insuffisante dans les concrétions, trop de thorium détritique, âge au-delà de la limite de la méthode, échantillon trop poreux, etc.).

L'application des instructions pratiques de la SSS/SGH pour l'évaluation de projets en terrain karstique – si l'on tient compte essentiellement des deux domaines environnementaux « paysage » et « sites archéologiques, géotopes et importance scientifique » – permet le développement d'un concept d'échantillonnage optimisé, dans le sens d'une réduction au minimum des impacts négatifs pour la grotte, associée à une maximisation des apports scientifiques. Par souci de simplification, les aspects déterminants pour l'échantillonnage scientifique ont été résumés et présentés dans la check-list ci-dessous, afin de les rendre accessibles aux scientifiques non familiarisés avec l'ensemble des instructions pratiques. Le principe central consiste à viser une exploitation maximale des échantillons récoltés, tout en laissant en place des échantillons pour les générations futures.

Bien que les grottes et leur contenu ainsi que tout objet de valeur scientifique appartiennent au canton concerné, il n'y avait, jusqu'ici et à notre connaissance, pas d'interlocuteur officiel à même d'apporter son appui aux personnes intéressées à effectuer un échantillonnage scientifique de sédiments de grottes<sup>2</sup>. C'est pourquoi la Commission de spéléologie scientifi-

---

<sup>1</sup> Cette check-list a été conçue principalement en pensant aux concrétions et dépôts clastiques (argiles, sables), mais elle peut aussi être utilisée pour d'autres types d'échantillonnages tels que de l'eau, des minéraux, de la roche ou des ossements.

<sup>2</sup> Pour les vestiges archéologiques et paléontologiques, ce sont les archéologues cantonaux ou les musées d'histoire naturelle qui sont responsables. En outre, l'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA) propose un service de détermination d'os d'animaux et assure également la coordination avec les autorités compétentes.

que de la SSS/SGH se met à disposition comme organe de conseil et de coordination. Dans ce but, elle gère une banque de données, dans laquelle sont réunies les (méta)données de tous les échantillons prélevés dans des grottes, afin de mettre ces informations à disposition des personnes intéressées dans le futur par des échantillons comparables (point 1 ci-dessous). Enfin, au point 2, une check-list réunit les principaux aspects à prendre en compte lors de l'échantillonnage.

### **1) LA BANQUE DE DONNEES D'ECHANTILLONS DE LA COMMISSION DE SPELEOLOGIE SCIENTIFIQUE**

La banque de données d'échantillons de la Commission de spéléologie scientifique de la SSS/SGH a pour but de collecter les (méta)données des échantillons prélevés dans des grottes et de les mettre à disposition des personnes intéressées, sur demande. Cela doit permettre d'éviter des échantillonnages répétés inutiles et de réduire au minimum les prélèvements d'échantillons inappropriés. Parallèlement, ces données doivent aider les personnes souhaitant prélever des échantillons à le faire de la manière la plus ciblée possible. La banque de données fournit ainsi les données nécessaires pour répondre à plusieurs questions de la check-list et optimiser le prélèvement d'échantillons.

En plus des informations relatives à l'emplacement et au type de l'échantillon, on enregistre également des informations relatives aux analyses effectuées et à leur qualité (paramètres mesurés, précision de mesure, p.ex. teneur en uranium et thorium détritiques lors de la datation de concrétions). Les résultats proprement dits de l'étude ne sont pas enregistrés, à l'exception de l'âge des sédiments. Enfin, des informations permettant de contacter l'auteur de l'échantillonnage, le lieu de conservation actuel des échantillons et les éventuelles publications des résultats sont enregistrés.

Les données sont introduites dans la banque de données de la Commission scientifique, mais restent la propriété de l'auteur et ne peuvent pas être utilisées sans son accord pour un autre objectif que l'optimisation du concept d'échantillonnage (c.-à-d. pas de publication). Un extrait de la banque de données sans données permettant une publication (c.-à-d. seulement le nom de la grotte, le genre d'échantillon et le genre de résultat) pourra éventuellement être publié sur Internet.

Pour que la commission puisse remplir sa mission (soutien pour l'optimisation de l'échantillonnage), l'échantillonnage doit être annoncé AVANT le prélèvement, même si cela peut impliquer une sortie supplémentaire sous terre. En principe, la SSS/SGH estime que la protection de la grotte prime sur la loi du moindre effort. A moins d'être certain qu'un échantillon est optimal et qu'il sera analysé, il est important de le laisser en place. Ainsi un échantillon qui impliquera des analyses longues et onéreuses en laboratoire ou qui est à même de fournir des réponses à des questions importantes justifie le fait de « gravir encore une fois les 1500 m de dénivellation et de ramper dans le boyau boueux à 5 heures de l'entrée » pour prélever cet échantillon. Une tâche importante, pour la protection des grottes, est de s'assurer que les échantillons ne soient pas prélevés au hasard, mais de manière réfléchie et qu'ils soient ensuite effectivement analysés. Dans ce sens, on évitera tout prélèvement

d'échantillons sans s'informer préalablement de l'existence éventuelle d'échantillons comparables et de la possibilité d'effectuer les analyses envisagées. Mais une communication ultérieure vaut toujours mieux que pas de communication du tout, car elle permettra éventuellement d'éviter des prélèvements inutiles au même endroit et/ou d'effectuer de nouveaux prélèvements de manière plus ciblée.

Dans le cas de petits échantillonnages, dont l'impact sur la grotte est négligeable (p.ex. quelques sédiments détritiques, petit échantillon de la roche encaissante, petites concrétions déjà cassées, etc.), on peut renoncer à une communication préalable, si la charge de travail paraît disproportionnée – par exemple parce qu'une expédition de plusieurs jours serait nécessaire pour effectuer un prélèvement ou parce que l'accès n'est possible que dans des conditions météorologiques exceptionnelles.

Dans tous les cas, les métadonnées citées ci-dessus devraient être transmises à la Commission de spéléologie scientifique après la réalisation des analyses (formulaire à disposition).

## **2) CHECK-LIST DES PRINCIPALES QUESTIONS RELATIVES AU PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS**

- > Existe-t-il un concept d'échantillonnage clairement établi ? Quels sont les critères pour une sélection soignée et ciblée des échantillons ?
  - *Quels sont les sédiments requis pour l'étude ? Age recherché et qualité requise des sédiments ? Ils témoignent de quel processus ? ...*
  - *Dispose-t-on d'informations pouvant être utiles pour la sélection des échantillons (p.ex. monitoring, chronologie relative des sédiments, etc.) ? De telles données peuvent-elles être réunies dans un délai utile ?*
  - *Comment s'assure-t-on d'optimiser la probabilité d'obtenir des échantillons appropriés ?*
  - => *Une vue d'ensemble des possibilités d'échantillonnage dans la/les grotte/s permet une sélection ciblée des échantillons.*
  - => *En présence d'exigences très particulières (p.ex. une période précise dans une concrétion), il y a lieu d'examiner si les concrétions recherchées peuvent être identifiées au moyen d'examen in situ (p.ex. carottage à la base d'une stalagmite).*
  
- > Des échantillons appropriés pour l'étude prévue ont-ils déjà été prélevés ?
  - *D'autres personnes ont-elles déjà prélevé des échantillons dans la même région ou avec des objectifs similaires ?*
  - *Où se trouvent ces échantillons ? En reste-t-il des parties ? Pourraient-ils être utilisés à la place de nouveaux échantillons ?*
  - => *Après que vous aurez rempli le formulaire de demande d'information de la Commission scientifique de la SSS/SGH, celle-ci vous fournira les réponses à ces questions.*
  - => *Les spéléologues locaux peuvent vous fournir des informations complémentaires*
  
- > Des limitations ou des difficultés liées à de telles études sont-elles connues ?
  - P.ex. teneur en uranium insuffisante, trop de thorium détritique dans les concrétions, âge au-delà de la limite de la méthode, etc.*
  - => *Après que vous aurez rempli le formulaire de demande d'information de la Commission scientifique de la SSS/SGH, celle-ci vous fournira les réponses à ces questions.*

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

- > Tous les échantillons prévus pourront-ils être analysés ?
  - Est-ce que la capacité du laboratoire, le temps et les moyens financiers à disposition sont suffisants pour analyser tous les échantillons ?
  - Le nombre prévu d'échantillons est-il judicieux pour la problématique étudiée ?

=> Il vaut mieux prélever un échantillon de moins et devoir retourner dans la grotte plutôt que d'avoir d'innombrables échantillons dans sa cave, que personne n'analysera (les distances en Suisse sont suffisamment modestes pour qu'il soit admissible de devoir retourner sur le lieu de prélèvement).
  
- > A-t-on tenu compte de manière appropriée de la protection de la grotte ?
  - Les échantillons sont-ils vraiment indispensables pour répondre aux questions qu'on se pose ? Un échantillon déjà prélevé ne suffirait-il pas ?
  - Existe-t-il des méthodes d'analyse permettant de prélever d'emblée le « bon » échantillon (p.ex. carottage pour la datation d'une concrétion) ?
  - N'est-il pas possible de prélever une concrétion moins visible ?

=> **Pesée des intérêts : les nouvelles connaissances attendues valent-elles l'impact occasionné ?**
  
- > Le projet a-t-il été discuté avec les spéléologues locaux ?
  - Les spéléologues locaux disposent souvent de connaissances détaillées de la grotte et peuvent renseigner sur le fonctionnement hydrologique et le climat de la grotte, sur les études qui ont déjà eu lieu dans la grotte et sur d'éventuelles données issues d'observation antérieures.
  - Bien souvent, les études scientifiques réalisées dans les grottes ne pourraient pas se faire sans le travail préalable des spéléologues (exploration, documentation, équipement, etc.). Il convient donc de les consulter avant tout échantillonnage.
  
- > Documentation de l'échantillon et du contexte
  - Emplacement précis du prélèvement (galerie, position dans la galerie, prochain point topo, etc.).
  - Processus influençant l'échantillon: crue, courant d'air, etc.
  - Intégration dans la chronologie relative locale (quels sont les sédiments déposés avant, après ?).
  - Photo, esquisse, etc.
  - Un programme de mesures en continu (monitoring) peut éventuellement augmenter l'intérêt de l'étude (température, hydrochimie, pCO<sub>2</sub>, etc.).

=> Une documentation appropriée du contexte est indispensable pour que les échantillons puissent également être utilisés ultérieurement, en dehors de l'étude prévue !
  
- > Communication des métadonnées à la Commission de spéléologie scientifique

La communication des métadonnées pertinentes (formulaire) à la Commission de spéléologie scientifique permet à celle-ci de répondre de manière compétente à des demandes ultérieures et d'éviter des prélèvements inutiles (p.ex. en raison d'échantillons inappropriés ou parce que quelqu'un veut étudier « la même chose »). Les « non-résultats », p.ex. « teneur en uranium insuffisante pour une datation » doivent également être communiqués – cela permettra d'éviter de nouveaux prélèvements inutiles !
  
- > Conservation des surplus

Les personnes ayant prélevé des échantillons sont priées de conserver les surplus utilisables (échantillons non analysés, restes utilisables) ou de les remettre à la Commission de spéléologie scientifique de la SSS/SGH, plutôt que de les jeter. Si ces surplus ne sont plus utiles et si rien ne s'y oppose, les personnes ayant prélevé les échantillons sont invitées à les mettre à disposition d'autres intéressés. L'application de différentes méthodes sur un même échantillon permet souvent d'augmenter l'intérêt d'une étude, ce qui est également dans l'intérêt de l'auteur du prélèvement.

### **Formulaire d'annonce : prélèvement de sédiments dans le karst**

Bien souvent, des sédiments (sédiments meubles, concrétions, os, etc.) sont prélevés dans des grottes sans savoir si des échantillons identiques ou similaires ont déjà été prélevés. Et il n'est pas rare non plus que, pour diverses raisons, des échantillons prélevés ne fournissent « aucun » résultat et ne donnent lieu à aucune publication.

L'annonce des prélèvements à la Commission scientifique, telle qu'elle est proposée ici, est destinée à faciliter l'accès aux résultats, dans le sens d'une documentation détaillée du sous-sol suisse. Elle doit également contribuer à la protection des cavernes en évitant des prélèvements multiples inutiles. L'auteur de l'annonce est informé par la Commission des éventuels prélèvements et études antérieurs, ainsi que des circonstances particulières (p.ex. teneur insuffisante en uranium pour une datation) ayant entravé ces études. Enfin, cette annonce doit aider à identifier les échantillons existants, susceptibles de faire l'objet d'autres études.

Dans ce but, les prélèvements et les résultats mis à disposition sont archivés dans une banque de données. Ces données restent la propriété de l'auteur du prélèvement et ne peuvent pas être utilisées sans son accord. Un extrait de la banque de données (métadonnées : nom de la cavité, type de prélèvement, type de résultats) est publié sur Internet ; cet extrait ne permet toutefois pas d'en tirer des données pour une publication.

Cette annonce est normalement faite avant un prélèvement, exceptionnellement après celui-ci (par exemple parce qu'une expédition de plusieurs jours serait nécessaire pour effectuer un prélèvement).

---

### **Formulaire d'annonce**

Nom de la cavité: \_\_\_\_\_

Canton, région, coordonnées: \_\_\_\_\_

Galerie ou endroit à échantillonner:

\_\_\_\_\_

Type de prélèvement: \_\_\_\_\_

Objectif du prélèvement: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Auteur du prélèvement: \_\_\_\_\_

Adresse, Club: \_\_\_\_\_

Documentation photo? oui \_\_\_\_\_ non \_\_\_\_\_

Le projet a-t-il été discuté avec les spéléos actifs sur place? oui \_\_\_\_\_ non \_\_\_\_\_

Lieu de conservation prévu: \_\_\_\_\_

Publications éventuelles: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

## ANNEXE C : BIBLIOGRAPHIE ET LEGISLATION

### Publications de la Société suisse de spéléologie (SSS/SGH) et de l'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA)

Ces publications peuvent être commandées à l'ISSKA et peuvent, pour la plupart, être téléchargées sur le site Internet de la SSS/SGH ([www.speleo.ch](http://www.speleo.ch)) et de l'ISSKA ([www.isska.ch](http://www.isska.ch)).

- > Sous nos pieds... le karst  
*Connaître et protéger les paysages calcaires*  
ISSKA (2005) : La Chaux-de-Fonds, 16 p.
- > Cavernes, monde fragile  
*Thomas Arbenz & Thomas Bitterli (2001): éditeur SSS/SGH, La Chaux-de-Fonds, 16 p.*
- > Conservation du patrimoine spéléologique et karstique suisse  
*Proposition pour une gestion durable et efficace ;*  
ISSKA (2001) : La Chaux-de-Fonds, 16 p.
- > Concept pour l'évaluation de la valeur, la vulnérabilité, la menace et le besoin de protection des grottes suisses (Géotopes spéléologiques)  
*Thomas Bitterli (1997) : éditeur SSS/SGH, La Chaux-de-Fonds, 5 p.*

### Ouvrages de base sur les grottes et le karst

- > Karst et grottes de Suisse  
*Andres Wildberger & Christian Preiswerk (1997), Speleo Projects, Allschwil, ISBN 3-908495-05-9, 208 p.*
- > Cavernes – face cachée de la Terre  
*Rémy Wenger (2006), Editions Nathan, ISBN 2-09-278059-X, Paris, 239 p.*  
*Couvre tous les aspects de l'étude des grottes, y compris la genèse, la morphologie, les espèces vivantes, l'archéologie, la paléontologie. Commande à [http://www.isska.ch/Fr/ensdoc/index.php?page=doc\\_liv](http://www.isska.ch/Fr/ensdoc/index.php?page=doc_liv)*
- > Les dolines – un élément caractéristique du paysage jurassien à préserver  
*République et Canton de Neuchâtel, Département de la gestion du territoire (2006), Neuchâtel, 6 p.*
- > Cave Conservation and Restoration  
*Current practices in cave conservation plus proven field methods for cave restoration and speleothem repair*  
*Val Hidreth-Werker & Jim C. Werker (eds., 2006), National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, ISBN 1-879961-15-6, 600 p.*
- > Karst Hydrogeology and Geomorphology  
*Derek Ford & Paul Williams (2007), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, ISBN 978-0-470-84997-2, 576 p.*  
*Ouvrage scientifique de base incluant des chapitres sur la gestion des eaux karstiques et l'impact humain sur ce milieu (en anglais)*
- > Guideline for Cave and Karst Protection  
*John Watson, Elery Hamilton-Smith, David Gillieson & Kevin Kiernan (Working Group on Cave and Karst Protection, 1997), IUNC – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, CH and Cambridge, UK, ISBN 2-8317-0388-3, <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/1997-026.pdf>, 63p.*

### **Bases légales fédérales importantes pour la protection du karst et des grottes**

- > Loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN, RS 451)
- > Ordonnance sur la protection de la nature et du paysage (OPN, RS 451.1)
- > Ordonnance sur la protection des sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale (RS 451.35)
- > Loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01)
- > Ordonnance relative à l'étude d'impact sur l'environnement (OEIE, RS 814.011)
- > Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol, RS 814.12)
- > Ordonnance sur la protection de l'air (OAir, RS 814.318.142.1)
- > Loi sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20)
- > Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201)
- > Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD, RS 814.600)
- > Ordonnances sur les sites contaminés (OSites, RS 814.680)
- > Loi sur les forêts (LFo, 921.0)
- > Ordonnances sur les forêts (OFo, 921.01)

### **Publications pertinentes de l'Office fédéral de l'environnement OFEV**

*Ces publications peuvent être commandées et téléchargées sur le site de l'OFEV ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)).*

- > Manuel EIE  
*Directive de la Confédération sur l'étude de l'impact sur l'environnement (art. 10b, al. 2, LPE et art. 10, al. 1, OEIE)*  
*OFEV (2009) : L'environnement pratique n° 0923 (UV-0923-F), Berne, 160 p.*
- > Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol  
*Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution et aux spécialistes de géothermie*  
*OFEV (2009) : L'environnement pratique n° 0910 (UV-0910-F), Berne, 51 p.*
- > Suivi environnemental de la phase de réalisation avec contrôle intégral des résultats  
*Intégration dans la réalisation des projets et la phase d'exploitation*  
*Brunner W. & Schmidweber A. (2007) : Connaissance de l'environnement n°0736 (UW-0736-F), OFEV, Berne, 79 p.*
- > Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines  
*OFEV (2004) : L'environnement pratique n° 2508 (UV-2508-F), Berne, 133 p.*

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

- > **Recommandations concernant les négociations**  
*Recommandations pour la négociation de projets soumis au droit de recours des associations*  
OFEV (2004) : *L'environnement pratique n° 1905 (VU-1905-F)*, Berne, 20 p.
- > **Gestion des déchets et des matériaux pour les projets soumis ou non à une étude de l'impact sur l'environnement**  
*Instructions*  
OFEFP (2003) : *L'environnement pratique n° 3009 (VU-3009-F)*, Berne, 11 p.
- > **Instructions – Evaluation et utilisation de matériaux terreux**  
OFEFP (2001) : *L'environnement pratique n°4812 (VU-4812-F)*, Berne, 20 p.
- > **Esthétique du paysage**  
*Guide pour la planification et la conception de projets*  
OFEFP (2001) : *Guide de l'environnement (LFU-9-F)*, Berne, 92 p.
- > **Reconstitution et remplacement en protection de la nature et du paysage**  
*La réglementation des atteintes en droit suisse*  
Kägi, Bruno, Stalder, Aandreas & Thommen, Markus (2002), *Guide de l'environnement n° 11 (LFU-11-F)*, OFEFP, Berne, 123 p.
- > **Guide pratique – Cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK)**  
*Application aux zones de protection des eaux souterraines*  
OFEFP (1998) : *L'environnement pratique n° 2504 (VU-2504-F)*, Berne, 56 p.
- > **Instructions pour l'application de la protection des eaux souterraines aux ouvrages souterrains**  
OFEFP (1998) : *L'environnement pratique n° 2503 (VU-2503-F)*, Berne, 32 p.
- > **EIE des aménagements hydroélectriques**  
*Mesures pour la protection de l'environnement*  
OFEFP (1997) : *Informations concernant l'EIE n° 8 (UVP-8-F)*, Berne, 182 p.
- > **EIE et infrastructures routières**  
*Guide pour l'établissement de rapports d'impact*  
OFEFP (1992) : *Informations concernant l'EIE n°7 (UVP-7-F)*, Berne, 192 p.
- > **Protection de la nature et du paysage et protection du patrimoine (N/P + P) lors de l'élaboration de rapports d'impact**  
*Recommandations pour l'auteur du domaine N/P+P*  
OFEFP (1991) : *Informations concernant l'EIE n°4 (UVP-4-F)*, Berne, 179 p.
- > **Le domaine protection des eaux et pêche dans le cadre d'une EIE**  
OFEFP (1990) : *Informations concernant l'EIE n°5 (UVP-5-F)*, Berne, 20 p.

### Autres ouvrages cités

- > **Die kleinen Fliessgewässer – Bedeutung, Gefährdung, Aufwertung**  
C. Boschi, R. Bertiller & T. Coch (2003), *vdf Hochschulverlag, Zürich, ISBN 3-7281-2907-0*, 119 p.

## ANNEXE D: ADRESSES UTILES

### > Société suisse de spéléologie, SSS/SGH

*La Société suisse de spéléologie (SSS/SGH) est active en premier lieu dans l'exploration et la documentation des grottes et des régions karstiques de Suisse, parfois aussi de l'étranger. Une bonne dizaine de kilomètres de galeries inconnues sont découvertes et documentées chaque année dans notre pays. La SSS/SGH s'occupe aussi des secours en milieu souterrain (SpéleoSecours), de la formation des spéléologues et de la protection des grottes et du karst.*

*Dans le domaine de la protection du karst et des grottes, cette société travaille en étroite collaboration avec l'ISSKA (voir plus bas). Cette collaboration comprend notamment l'inventaire et la dépollution d'innombrables dolines et de grottes remplies de détritiques, des activités de formation et de relations publiques (exposés, excursions, contacts directs, articles de presse) ainsi que l'identification, la surveillance et le suivi d'objets menacés (inventaire des géotopes, mesures de protection spécifiques, suivi de projets de construction, etc.). Dans ce cadre, la SSS/SGH et l'ISSKA collaborent avec les autorités, les propriétaires fonciers et d'autres organisations de protection de l'environnement. Le programme de protection du milieu souterrain et du karst de la SSS/SGH est soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).*

Case Postale 1332  
2301 La Chaux-de-Fonds  
Tél. 032 / 913 35 33, Fax 032 / 913 35 55  
sss-sgh@speleo.ch, patrimoine@speleo.ch  
www.speleo.ch

### > Commission de spéléologie scientifique, CSS

*Cette commission regroupe des spéléologues de la SSS/SGH d'orientation scientifique. Elle est à la fois un organe de la SSS/SGH et un groupe de travail de la Plate-forme Geosciences de l'Académie suisse des sciences naturelles (ScNat). Cette commission soutient les spéléologues dans leurs activités en lien avec la science (formation, conseil et aide pour des projets scientifiques) et fait le lien entre la SSS/SGH, la Plate-forme Geosciences de la ScNat, l'ISSKA et d'autres institutions travaillant à titre professionnel ou académique dans le domaine de la karstologie.*

CSS  
c/o Hans Stünzi  
Weiningerstr. 79  
8105 Regensdorf  
Tél. 044 840 66 39  
science@speleo.ch

### > Institut suisse de spéléologie et de karstologie, ISSKA

*L'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA) est un centre de compétence pour la spéléologie et les sciences du karst. Il a été créé en 2000, sur l'initiative de la Société suisse de spéléologie. Il rassemble une dizaine de professionnels spécialisés qui mettent à disposition des autorités et d'autres personnes intéressées leurs compétences et des informations utiles pour la maîtrise des problèmes liés au domaine souterrain (recherche scientifique, mesures de protection, documentation, sécurité, etc.). L'ISSKA a pour but de stimuler, de guider et de faire connaître le travail effectué par les spéléologues, afin de le rendre plus facilement accessible aux milieux intéressés – administrations, universités, institutions privées, écoles et grand public.*

Case postale 818  
2301 La Chaux-de-Fonds  
Tél. 032 / 913 35 33, Fax 032 / 913 35 55  
info@isska.ch  
www.isska.ch

## Instructions pratiques pour l'évaluation de projets en terrain karstique

### > Office fédéral de l'environnement OFEV

*Office fédéral de l'environnement OFEV  
3003 Berne  
Tél.: 031/ 322 93 11, Fax: 031/ 322 99 81  
info@bafu.admin.ch  
www.bafu.admin.ch*

*Section Paysages d'importance nationale  
Division Nature et paysage  
Tél: 031/ 322 93 87, Fax: 031/ 324 75 79  
infonl@bafu.admin.ch*

*Section Protection des eaux souterraines  
Division Eaux  
Tél: 031/ 322 69 69, Fax: 031/ 323 03 71  
wasser@bafu.admin.ch*

*Section Hydrogéologie  
Division Hydrologie  
Tél: 031/ 324 77 58, Fax: 031/ 324 76 81  
hydrogeologie@bafu.admin.ch*

### > Centre d'informations géologiques

*Le Centre d'informations géologiques assure, à l'échelle nationale, l'archivage de documents et rapports géologiques non publiés et les met à disposition.*

*Service géologique national  
Seftigenstrasse 264  
3084 Wabern  
Tél. 031/963 25 68, Fax 031/ 963 25 45  
info@geol@swisstopo.ch  
<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/services/geology.html>*