



Société Suisse  
de Spéléologie  
(SSS)

ISSKA  
SISKA  
ISSCA  
SISKA



Institut suisse  
de spéléologie  
et de karstologie

sc | nat

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

Commission  
de spéléologie  
scientifique

# Éoliennes en région karstique

risques, impacts, conseils et mesures

## notice explicative



## Les éoliennes peuvent-elles faire bon ménage avec le karst\* ?

Karst et éoliennes ne sont pas incompatibles, mais il existe des risques propres à ce milieu géologique particulier. Il ne s'agit pas uniquement d'atteintes à l'environnement, mais également de la stabilité même des installations. En effet, les massifs karstiques renferment de nombreux vides. Mieux vaut en tenir compte pour éviter les mauvaises surprises...

La présente brochure s'adresse à tous les acteurs concernés par les éoliennes. Elle aborde quelques **notions de base sur le milieu karstique**, puis esquisse les principaux **problèmes** rencontrés lors de la construction d'éoliennes dans ces régions et enfin les principales **mesures à mettre en oeuvre** pour limiter les problèmes.

## Qu'est-ce que le karst ?

Les régions karstiques couvrent environ **20 % de la Suisse**, principalement dans le Jura et les Préalpes. Le **karst est un type de paysage** présentant une morphologie et une hydrologie particulières. Les formes du paysage karstique sont visibles à la surface du sol et sous terre, dans les grottes qui s'y développent. Ce paysage est formé grâce à la dissolution des roches, principalement des calcaires. Les formes karstiques les plus courantes sont les dolines, les lapiés, les vallées sèches, les grottes et des gorges impressionnantes (fig. p.3). L'hydrologie karstique est caractérisée essentiellement par l'**absence d'eaux de surface**, des écoulements souterrains concentrés (par exemple les rivières souterraines), des bassins fermés, de grandes sources karstiques, et des vitesses d'écoulement élevées dans le sous-sol.



© ISSKA

## Les régions karstiques sont-elles propices aux éoliennes ?

En raison de l'exposition au vent, la plupart des sites favorables à cette énergie sont situés en zones de crêtes, lesquelles sont souvent constituées de roche «dure». Dans le Jura et les Préalpes, ce sont principalement des calcaires. C'est pourquoi **une grande partie des parcs éoliens planifiés sont situés en région karstique**. Comme toute construction, les éoliennes, ainsi que les aménagements qui y sont liés (routes d'accès, tranchées pour l'acheminement de l'électricité, etc.), peuvent affecter les grottes et le karst. En outre, les cavités représentent elles-mêmes un risque pour les éoliennes (instabilité du sol).

Ces **aléas**, liés à la présence de cavités souterraines, **peuvent être réduits par un choix ciblé des emplacements et des mesures appropriées** permettant de limiter le risque à un niveau acceptable. Il n'y a pas obligatoirement de contradiction fondamentale entre l'exploitation du potentiel énergétique éolien et la protection des grottes et du karst, mais les **spécificités générales et locales du karst devraient être prises en compte** au moment de décider de l'emplacement de futures éoliennes.

Les régions karstiques couvrent environ 20 % de la Suisse (jaune). Elles sont situées principalement dans le Jura et les Préalpes.

\* Karst: Utilisé seul, ce mot décrit un type de paysage particulier, façonné par la dissolution de la roche, souvent calcaire, induisant une morphologie et une hydrologie particulière. Son sens est donc général, comparable à «désert» ou «montagne».

Le paysage karstique de surface et souterrain



10

Perte



9

Gouffre



8

Rivière souterraine



1

Dolines



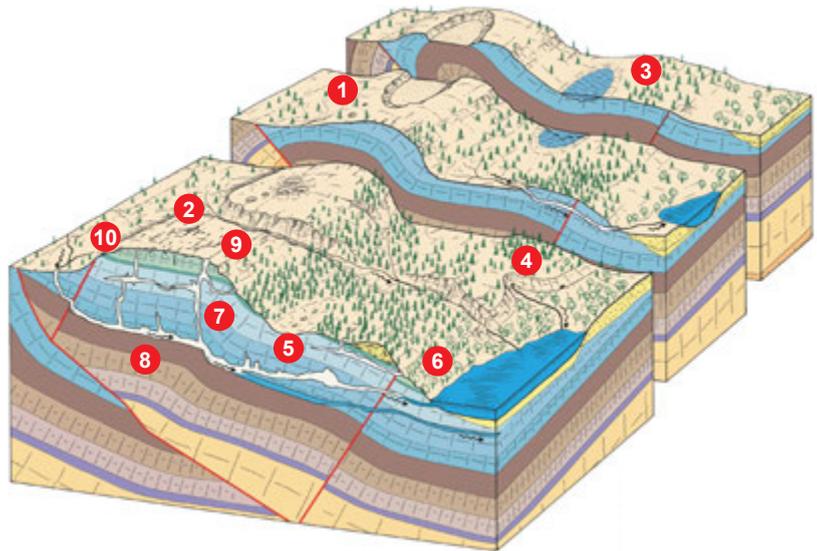
2

Lapié

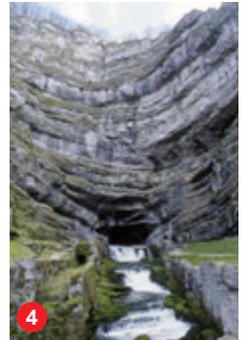


3

Poljé



© ISSKA



4

Reculée



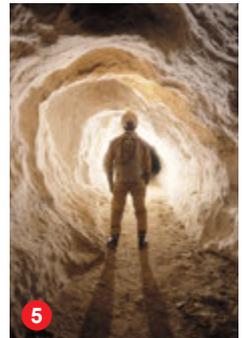
7

Puits



6

Source karstique



5

Galerie fossile

Photos RW / ISSKA



Photo RW / ISSKA

Paysage karstique typique lorsque la couverture végétale est absente. La roche est largement fissurée et les eaux pluviales s'infiltrent directement dans le sous-sol.



Parc éolien en zone calcaire.

photo sp

### Quels documents existent pour l'éolien dans les régions karstiques ?

Les spécificités de l'environnement karstique ne sont que marginalement traitées dans les recommandations de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et des cantons, à l'exception de l'aide pratique EPIK (méthode de délimitation des zones de protection des eaux souterraines en région karstique). La société suisse de spéléologie SSS/SGH a publié, avec l'appui de l'Académie Suisse des Sciences naturelles ScNat, des Instructions pratiques pour l'évaluation des projets dans les régions karstiques\*. Leur but est de faire en sorte que les caractéristiques du milieu karstique soient mieux prises en compte dans la planification et l'exécution des projets de construction. Sur mandat du canton de Vaud, l'ISSKA a publié une brochure sur l'évaluation et la mitigation des instabilités en milieu karstique\*\*.



Roche fissurée affleurante.

Photo RW / ISSKA

### Quelle influence les éoliennes ont-elles sur le paysage karstique ?

Les paysages karstiques présentent les formes caractéristiques décrites en page 3, telles que les dolines, les lapiés ou les vallées sèches. En plus de leur rôle en tant qu'**éléments du paysage protégés par la loi (LPN art. 1a)**, ces structures ont également souvent aussi une **importance hydrologique** comme **points d'infiltration préférentiels**.

Ces deux fonctions peuvent être sévèrement touchées par les changements majeurs sur le sol pendant la construction des éoliennes, en particulier pour les places de montage et les accès.

Le façonnement naturel de la roche affleurante par l'eau est un élément fort du paysage karstique et sa reconstitution est presque impossible. C'est pourquoi l'incidence des interventions pouvant affecter un paysage karstique doit être examinée avec soin (particulièrement si les sites d'intervention se trouvent dans des périmètres d'objets inventoriés). Un inventaire et une cartographie des formes karstiques de la région concernée par les travaux (périmètre incluant les occupations temporaires) doivent être menés pour ajuster au mieux les projets aux conditions locales. Il suffira souvent de déplacer une piste ou un point d'implantation de quelques mètres pour éviter de détruire un élément caractéristique du paysage (doline ou zone de lapié).

\* « Instructions pratiques pour l'évaluation des projets dans les régions karstiques » ; disponible sous [www.speleo.ch](http://www.speleo.ch)

\*\* « Gestion des instabilités karstiques, Aléa effondrement et dolines - Cahiers 1 et 2, ISSKA 2023 », disponible sur demande à l'ISSKA

## Quelle influence ont les éoliennes sur les grottes ?

Les grottes et gouffres situés à proximité d'une zone de construction (jusqu'à environ 50 m de distance latérale) peuvent être affectés, en particulier par :

- Le recoupement d'une cavité pendant l'excavation et les travaux de stabilisation des roches qui induit un risque de destruction, colmatage, effondrement... de la cavité.
- Des changements permanents dans le climat de la cavité par des modifications des courants d'air ;
- Des vibrations, qui peuvent conduire à l'effondrement de cavités et le bris de stalactites et de stalagmites ;
- L'infiltration de sédiments et de matière organique des sols, qui peut conduire à **modifier la composition de la faune**, salir les stalactites et stalagmites ou **affecter la qualité des eaux souterraines**.

Selon les cas, il s'agit de protéger :

- **La grotte en tant que témoin de l'histoire de la terre** (géotope). Les formes de galeries, les sédiments, et les concrétions (stalagmites et stalactites) sont de riches archives du climat et de l'évolution de notre environnement ;
- La grotte en tant que **biotope**. Les grottes sont des habitats pour des **espèces rares, fragiles et souvent endémiques**. Une attention particulière est accordée aux chauves-souris et invertébrés troglodytes. Ces animaux sont très sensibles aux variations de l'équilibre nutritif et du climat de la grotte. L'agrandissement, l'ouverture mais aussi la fermeture d'une cavité peuvent rendre la grotte inhabitable pour certaines espèces.
- La grotte en tant que **site archéologique et paléontologique**. Le milieu souterrain, à l'abri de l'érosion et des influences extérieures, avec un climat très constant, protège et conserve les os et artefacts témoins de l'évolution humaine et animale pendant des millénaires. Ceci est également valable pour l'accumulation de sédiments dans les dolines.
- La grotte au sein d'un **système hydrogéologique** (voir page suivante).

Il est important de noter que seule une petite partie des cavités karstiques existantes sont connues. Les spéléologues découvrent encore des dizaines de grottes inconnues dans notre pays! Par ailleurs, de très nombreux vides souterrains ne possèdent pas forcément un accès franchissable à l'homme à partir de la surface du sol (= grottes borgnes, recouvertes de blocs ou de sol). Lors de travaux, il est par conséquent fréquent de découvrir de nouvelles cavités. Le fait qu'aucune grotte ne soit connue à proximité d'un projet d'implantation d'éolienne ne veut donc pas dire qu'il n'en existe pas.

**Une investigation du sous-sol est donc fortement recommandée avant les travaux.**



Photo Suisse Éole

Transport d'éléments de mât d'une éolienne.



Photo Suisse Éole

Construction du socle d'une éolienne sur une assise calcaire.



Dans le karst, au premier plan, les eaux s'infiltrent et circulent dans les profondeurs du sous-sol. Dans les roches imperméables, visibles à l'arrière plan, l'eau ruissèle en surface formant des ravinements caractéristiques.



Source karstique.

### Quelle influence ont les éoliennes sur les eaux souterraines ?

Les **eaux souterraines**, grâce à leur bonne qualité, **fournissent 80% de l'eau potable en Suisse**. Il est nécessaire de les protéger par des mesures préventives à long terme.

En raison de la connexion directe entre la surface et les eaux souterraines au travers des conduits karstiques, le **risque d'atteinte à ces eaux est assez marqué dans les régions karstiques**. En outre, le temps pour intervenir après un incident est court.

En principe, les nuisances suivantes sont particulièrement importantes :

- **Arrivée de sédiments et de matière organique** à la suite de l'érosion des sols ;
- **Infiltration de substances polluantes** issues de machines de chantiers, camions et éoliennes qui contiennent jusqu'à plusieurs centaines de litres de lubrifiants ;
- **Alcalinisation de l'eau** à la suite de travaux de bétonnage.

Relevons que la question des pistes représente souvent un problème plus important que ce lui des mâts qui occupent un territoire très limité.

Par ailleurs, signalons enfin qu'il est fréquent de voir des sources parfois éloignées du site d'implantation être affectées par des pollutions, en raison du réseau de drainage dans les conduits souterrains qui est étendu et très efficace.

### Quels dangers présente le karst pour les éoliennes ?

Si un projet de construction d'éolienne peut affecter une cavité naturelle, le contraire est également possible. **La présence de vides souterrains connus ou inconnus peut constituer un risque de premier ordre** pour l'implantation d'une éolienne dont l'assise doit être d'une solidité irréprochable. Des cavités inconnues peuvent s'effondrer sous des contraintes mécaniques supplémentaires (charge et/ou vibrations) et endommager la base de l'ouvrage.

Par ailleurs, **l'infiltration artificielle de l'eau** de chantier ou de zones étanches augmente notablement le risque de formation de dolines et d'instabilités du terrain. Dans un rayon de 50 à 100 m autour d'un point d'infiltration artificielle, il faut envisager que de nouvelles dolines se forment, soient réactivées, ou qu'il survienne des tassements / glissements de terrain.



Un exemple d'effondrement survenu soudainement en zone calcaire.

### Quelles mesures devraient être prises ?

Dans tous les nouveaux projets d'énergie éolienne, une évaluation du milieu karstique devrait intervenir dès les enquêtes préliminaires. Elle devrait inclure la protection des formes karstiques (en surface et sous terre) et des eaux souterraines. Une étude de stabilité du sous-sol, est aussi déterminante, en particulier pour ajuster la position des différents éléments du projet. Des mesures ciblées et spécifiques doivent ensuite être prises en tenant compte des conditions locales.

Les mesures suivantes sont notamment recommandées.

#### Concernant les dangers spécifiques du karst pour l'ouvrage :

- Dans les **zones calcaires, marneuses et gypseuses**, évaluer attentivement le danger d'instabilité lié aux cavités karstiques pour l'implantation des mâts et autres infrastructures ;
- **Inventorier les objets karstiques**, tels que grottes, dolines, pertes, sources karstiques, lapiés dans un périmètre d'au moins 500 m autour des sites, routes d'accès et autres aménagements tels que les tranchées pour les lignes électriques enterrées ;
- Effectuer un **examen attentif du sous-sol**, incluant une étude géophysique du sous-sol et des forages de reconnaissance sous la plateforme devant accueillir le mât ;
- **Délimiter les zones à forte probabilité de karstification** (méthode KarstALEA\*), sur la base des données géologiques, géomorphologiques (dolines,...) et spéléologiques (grottes) ;
- Rendre le **drainage du chantier** et des constructions compatible avec les problèmes liés aux instabilités du terrain karstique.

#### Concernant la protection des grottes et du paysage karstique :

- **Consultation des inventaires des géotopes** [inventaire de ScNat (map.geo.admin.ch-> géologie-> géotopes suisses), inventaires cantonaux et communaux] ;
- **Recherche des grottes connues dans la région** (bases de données de la Société suisse de spéléologie) ;
- **Inventaire et cartographie des objets karstiques** tels que dolines, pertes, sources karstiques, lapiés (s'il n'existe pas encore de carte indicative du karst) ;

\*<https://www.isska.ch/pdf/De/Kompetenzen/KarstALEA.pdf>

\*\*[https://www.isska.ch/pdf/Fr/Rd/ISSKA\\_Brochure\\_KARSYS\\_FR.pdf](https://www.isska.ch/pdf/Fr/Rd/ISSKA_Brochure_KARSYS_FR.pdf)



Photo RW / ISSKA

Effondrement du sol dans une cavité sous-jacente survenu en plein pâturage.

- Pour chaque objet significatif, évaluer les implications du projet sur ceux-ci.
- **Optimiser le projet de construction**: en fonction de l'importance des objets et de la faisabilité, déplacer les implantations prévues de quelques mètres ou dizaines de mètres.
- **Réduire les remaniements de sols au strict nécessaire** (p.ex. mettre des nattes sur le sol ou protéger durant le chantier les parties du sol qui peuvent être conservées par la suite) ;
- Si des cavités sont découvertes, elles doivent être explorées, documentées et évaluées (consultation de spécialistes du milieu karstique).

#### Concernant la protection des eaux souterraines :

- **Examen minutieux du contexte hydrogéologique** (périmètre d'étude, qui comprend toutes les sources susceptibles d'être touchées. Dans les régions karstiques, celles-ci sont parfois éloignées de plusieurs kilomètres). Une documentation KARSYS\*\* peut fournir ici des informations précieuses ;
- Vérification de l'existence de **zones de protection des eaux souterraines** ;



Photo RW / ISSKA

Dolines en formation : l'évolution du karst est permanente.

- Limitation dans le temps et l'espace des remaniements de sol en prenant en compte les conditions météorologiques (p. ex. pas de grands espaces ouverts en périodes de fortes précipitations);
- Tenir compte de la forte vulnérabilité des eaux souterraines karstiques dans le concept de gestion des matériaux et dans le plan de mesures et d'alarme :
  - prévention de l'érosion des sols et de l'infiltration de sédiments dans le sol;
  - traitement adéquat des eaux de chantier;
  - réduction de la probabilité d'un incident impliquant des substances dangereuses, par exemple en évitant les zones particulièrement sensibles ou par l'utilisation de machines récentes;
  - réduction des conséquences possibles d'un incident par le biais de mesures ciblées (par exemple en utilisant des huiles biodégradables, en limitant les quantités de substances nocives sur le site, en aménageant des places de parc étanches et en prévoyant des dispositions d'intervention appropriées tels que boudins absorbants d'hydrocarbures, etc.);
- Lors du remblayage d'une cavité, s'assurer qu'elle ait été suffisamment explorée et que le béton ne puisse pas pénétrer plus loin dans un système karstique.

Pour télécharger cette brochure :  
[www.isska.ch](http://www.isska.ch)  
[www.speleo.ch](http://www.speleo.ch)

## Conclusion

Le calcaire constitue l'essentiel des roches des régions karstiques (20% du territoire suisse). Il contient une grande quantité de fissures et de cavités naturelles. Les marnes et couches gypseuses sont généralement aussi karstifiées. L'implantation d'éoliennes dans ces zones nécessite une grande prudence et une connaissance précise de la nature du sous-sol. En effet, un danger d'instabilité existe et peut impacter les infrastructures.

L'impact potentiel de la construction d'éoliennes sur l'environnement doit aussi être pris en compte. Différentes atteintes sont possibles: perturbation de l'écoulement des eaux souterraines, destruction de cavités dignes d'intérêt, modification irréversible d'éléments du paysage, altération de la faune et/ou de cristallisations présentes sous terre.

Pour ces diverses raisons, il est recommandé aux promoteurs de sites éoliens de prendre en considération l'aspect « karst » dès le début de leur projet.

## Contact pour questions techniques

L'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA) est à disposition pour répondre aux questions des promoteurs et des administrations impliquées dans les projets d'implantation d'éoliennes.

L'ISSKA assure le contact avec les représentants régionaux de la Commission du Patrimoine de la Société suisse de spéléologie (SSS).

Institut suisse de spéléologie et de karstologie, ISSKA  
Rue de la Serre 68  
2300 La Chaux-de-Fonds  
tél.: 032 913 35 33  
[info@isska.ch](mailto:info@isska.ch)  
[www.isska.ch](http://www.isska.ch)